



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ  
ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ  
ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΣΡΙ (ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑΣ ΨΗΦΙΔΩΝ)**

**ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΧΑΤΖΗΝΙΚΟΛΑΟΥ**

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΔΡ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΚΙΑΓΙΑΣ**

**ΡΕΘΥΜΝΟ, 2007**

## **Ευχαριστίες**

Ευχαριστούμε τον Δρ. Χαράλαμπο Κιαγιά που ήταν υπεύθυνος καθηγητής της πτυχιακής εργασίας μας για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε. Επίσης, τον Δρ. Ευθύμιο Μπακαρέζο που μας έδωσε τη πλούσια βιβλιογραφία των οπτικών τεχνικών που μελετήθηκαν τα μεγάφωνα και το συμφοιτητή μας Βασίλη Βάθη.



<b>6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ</b>	<b>50</b>
6.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΡΙΩΝ ΤWEEΤΕR	51
6.2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΤWEEΤΕR ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ (ΤΡΥΠΑΣ) ΣΤΟΝ ΚΩΝΟ	63
6.3. ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΤWEEΤΕR ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ (2 <sup>ΗΣ</sup> ΤΡΥΠΑΣ) ΣΤΟΝ ΚΩΝΟ	70
6.4. ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΤΡΙΤΟΥ ΤWEEΤΕR ΠΡΙΝ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΙΚΟΣΙΤΕΤΡΑΩΡΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ	74
<b>7. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ</b>	<b>79</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>80</b>



# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

**Σχήμα 1.1** Ένας από τους πρώτους τύπους μεγαφώνου κινητού σιδήρου – λίγο μεγαλύτερο από ένα ακουστικό τηλεφώνου με χωνί σελ. 4

**Σχήμα 2.1** Η βασική διάταξη ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου σελ. 9

**Σχήμα 2.2** Πλάγια τομή ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου σελ. 10

**Σχήμα 2.3** Μπροστινή όψη ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου σελ. 11

**Σχήμα 2.4** Λεπτομέρειες του οδηγού συμπίεσης υψηλών συχνοτήτων και της συνδεδεμένης χοάνης σελ. 12

**Σχήμα 2.5** Το ηλεκτροστατικό μεγάφωνο: α) τμηματική άποψη τομής των βασικών στοιχείων μετατροπής και β) πρόσοψη του στοιχείου σελ. 17

**Σχήμα 2.6** Οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι αλλάζουν τις διαστάσεις τους, όταν τους εφαρμοστεί μια τάση. Έτσι ένας επιμηκνόμενος και ένας επιβραχυνόμενος κρύσταλλος, κολλημένοι μαζί, θα κάμπτονται. Μ' άλλα λόγια δύο δίσκοι μπορούν να κολληθούν έτσι που να γίνονται άλλοτε κοίλοι και άλλοτε κυρτοί, εναλλακτικά. Αν σ' αυτούς τους δίσκους κολληθεί ένας κώνος, τότε έχουμε έναν τύπο μεγαφώνου, κατάλληλο για χρήση σαν τουίτερ (tweeter). Λεπτά φύλλα υψηλών πολυμερών έχουν πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες και έτσι αν καμφθούν για να σχηματίσουν ένα κύλινδρο, μπορούν να δώσουν ένα παντο - κατευθυντικό tweeter ή midrange, όπου ο κύλινδρος διαστελέεται ή συστέλλεται ανάλογα με το σήμα σελ. 20

**Σχήμα 3.1** Η ηχητική στάθμη εξόδου είναι θεωρητικά σταθερή ως κάτω κατά το συντονισμό, όπου μπορεί είτε να ανέβει, είτε να πέσει – εδώ υπάρχει μια ελαφρά άνοδος. Η έξοδος πάντα πέφτει απότομα πιο κάτω από το συντονισμό σελ. 29

**Σχήμα 3.2** Πως ο συντελεστής ποιότητας  $Q$  επηρεάζει την απόκριση συχνότητας ενός μεγαφώνου. Όσο μεγαλύτερος γίνεται ο  $Q$ , τόσο μεγαλώνει η κορύφωση της απόκρισης και τόσο μεγαλύτερη γίνεται η υπερδιαφυγή και ο κωδωνισμός στα μεταβατικά σελ. 30

**Σχήμα 5.1** Frequency Response Curve σελ. 35

**Σχήμα 5.2** Mounting Holes in Enclosure σελ. 36

**Σχήμα 5.3** Τυπική διάταξη ολογραφίας για **(α)** καταγραφή, και **(β)** ανακατασκευή σελ. 38

**Σχήμα 5.4** **(α)** Συμβολή δύο κυμάτων, **(β)** σχέση φάσης και μετατόπισης, και **(γ)** ανακατασκευή αντικειμένου σελ. 39

**Σχήμα 5.5** Σχηματική απεικόνιση διάταξης ολογραφικής συμβολομετρίας απλής έκθεσης σελ. 42

**Σχήμα 5.6** Αντιστοιχία μεγίστων συνάρτησης Bessel  $|J_0(\Gamma A)|$  και κατανομής πλάτους ταλάντωσης μετρούμενης με την τεχνική ESPI σελ. 47

**Σχήμα 5.7** Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης ESPI σελ. 48

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη της κατασκευής και του τρόπου λειτουργίας των μεγαφώνων παρουσιάζει ιδιαίτερο θεωρητικό αλλά και ερευνητικό ενδιαφέρον εξαιτίας των εντυπωσιακών επιτευγμάτων που έχει να επιδείξει στο πεδίο της εξέλιξης. Η εφαρμογή της τεχνολογίας μας επιτρέπει σήμερα να κάνουμε αφενός λόγο για τις αρχές που διέπουν τη δομή και την λειτουργία των μεγαφώνων και αφετέρου πράξη τα πορίσματα που προκύπτουν από τις πειραματικές τεχνικές μελέτης των μεγαφώνων. Μια από αυτές είναι η ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry – ESPI) που χρησιμοποιείται εν προκειμένω με σκοπό την καταγραφή της συμπεριφοράς των μεγαφώνων ύστερα από μετρήσεις που πραγματοποιούνται.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πρώτα μεγάφωνα εμφανίστηκαν πριν από έναν περίπου αιώνα και χρησιμοποιήθηκαν αρχικά με σκοπό τη διευκόλυνση της επικοινωνίας των ανθρώπων. Η εφεύρεση του ακουστικού του τηλεφώνου από τον Alexander Graham Bell ήταν εκείνη που ανταποκρίθηκε με μεγάλη επιτυχία σε αυτές τις πρώιμες προσδοκίες δημιουργώντας μετέπειτα όλες τις ευνοϊκές προϋποθέσεις για την εξέλιξη των ηλεκτρικών συσκευών παραγωγής ήχου. Στο πέρασμα των χρόνων και με την ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας οι παραγόμενοι μέσω ενός ακουστικού τηλεφώνου ήχοι αποτέλεσαν παρελθόν αφού τα σύγχρονα υψηλούς απόδοσης μεγάφωνα όχι μόνο αντικατέστησαν τα παλαιά αλλά συνέστησαν τον ακρογωνιαίο λίθο στον χώρο της ηλεκτροακουστικής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια προσπάθεια έκθεσης και ανάλυσης όλων εκείνων των στοιχείων που συνθέτουν το πλαίσιο της δομής και της λειτουργίας των μεγαφώνων. Τα στοιχεία αυτά σε πρώτη φάση καταγράφουν τον τρόπο και τις διαδικασίες εφαρμογής της τεχνολογίας για την κατασκευή των μεγαφώνων ενώ σε δεύτερη φάση τους παράγοντες εκείνους που συντελούν στην παραγωγή του ήχου. Συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή όπου εξηγείται πώς φτάσαμε στην ανάγκη κατασκευής των πρώτων μεγαφώνων. Εν συνεχεία, ακολουθεί στο δεύτερο κεφάλαιο η αναλυτική καταγραφή των δομικών στοιχείων ενός μεγαφώνου βασισμένη στην κατηγοριοποίηση των ειδών του, σύμφωνα με τις διαφορετικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Ορισμένα είδη μεγαφώνων που εξετάζονται είναι τα ηλεκτροδυναμικά, τα μεγάφωνα με ταινία, τα μεγάφωνα κόρνας ή χοάνης, τα μεγάφωνα με επίπεδο διάφραγμα, τα μεγάφωνα μετασχηματισμού κίνησης αέρα, τα ηλεκτροστατικά μεγάφωνα, τα πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα, τα μαγνητοστατικά μεγάφωνα και τα μεγάφωνα ιονισμού. Εκτός από τις βασικές κατηγορίες μεγαφώνων, αναφέρονται και κάποιες ιδιαίτερες κατασκευές μεγαφώνων όπως τα υπογούφερ, τα ενεργά μεγάφωνα, τα δίπολα μεγάφωνα και τα μεγάφωνα NXT.

Το τρίτο κεφάλαιο εξετάζει το φαινόμενο του συντονισμού που έχει μεγάλη σημασία για την απόδοση των μεγαφώνων χαμηλών συχνοτήτων ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στα μεγάφωνα μεσαίων συχνοτήτων τα λεγόμενα midrange και στα μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων τα λεγόμενα tweeters. Τα tweeters

χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων και των συγκρίσεων που απαρτίζει το ερευνητικό μέρος τούτης της εργασίας. Ταυτόχρονα στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται οι πειραματικές τεχνικές μελέτης των μεγαφώνων και αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μεγαφώνων που επιλέχθηκαν καθώς και η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της συμπεριφοράς τους. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε είναι οπτική και ονομάζεται ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry – ESPI).

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μέρη των πειραματικών αποτελεσμάτων. Στο πρώτο μέρος πραγματοποιείται η σύγκριση μεταξύ τριών tweeter, τα οποία είναι της ίδιας εταιρίας (Tonsil), του ίδιου μοντέλου (Cone Tweeter Loudspeaker GDW 9/60) και φυσικά των ιδίων τεχνικών χαρακτηριστικών. Στο δεύτερο μέρος των μετρήσεων καταγράφονται οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του πρώτου tweeter μετά τη δημιουργία τεσσάρων διαδοχικών προβλημάτων (τρυπών) στο ίδιο σημείο του κώνου. Η διάμετρος της τρύπας αυξάνεται κάθε φορά με αντικείμενα (καρφίτσες, καρφιά) διαφορετικής διαμέτρου, εν συνεχεία καταγράφονται οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του πρώτου tweeter μετά τη δημιουργία δεύτερου προβλήματος (2<sup>ης</sup> τρύπας) και την χάραξη ενός τόξου στον κώνο. Η δεύτερη τρύπα δημιουργείται κάτω από την πρώτη σε απόσταση 0.8cm για να παρατηρηθεί εάν θα υπάρξει διαφορά στην ανακατάταξη των κροσσών συμβολής στη συγκεκριμένη μεριά του κώνου και τέλος, καταγράφονται οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του τρίτου tweeter πριν αλλά και μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία του.

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο υποβάλλονται οι προτάσεις μιας προτεινόμενης μελλοντικής έρευνας.

## 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη ηλεκτρική συσκευή παραγωγής ήχου ήταν το ακουστικό του τηλεφώνου του Alexander Graham Bell.<sup>1</sup> Αν και πέρασε ένας σχεδόν αιώνας από τότε, το σημερινό ακουστικό του τηλεφώνου λειτουργεί με βάση την ίδια αρχή. Η βάση του είναι ο ηλεκτρομαγνητισμός. Ένα τύλιγμα ενός μονωμένου σύρματος (ένα πηνίο) που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργεί γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο, όπως ένας μόνιμος μαγνήτης και ακριβώς όπως ο μόνιμος μαγνήτης έλκει μικρά σιδερένια κομμάτια, έτσι και το ηλεκτρομαγνητικό πηνίο ασκεί έλξη σε κάθε σιδερένιο κομμάτι που βρίσκεται κοντά του.

Το ακουστικό του Graham Bell ήταν ένα ηλεκτρομαγνητικό πηνίο τυλιγμένο πάνω σ' έναν πυρήνα (ζυγό), που ήταν ένας μόνιμος μαγνήτης και μπροστά στον πυρήνα βρισκόταν ένα λεπτό χαλύβδινο διάφραγμα. Όσο το πηνίο δε διαρρέονταν από ηλεκτρικό ρεύμα, ο μόνιμος μαγνήτης ασκούσε μια σταθερή δύναμη έλξης στον οπλισμό που ήταν στερεωμένος στο μέσον του διαφράγματος. Όταν όμως, περνούσε τους αγωγούς του πηνίου ένα ηλεκτρικό σήμα κάποιας ακουστικής συχνότητας, η επίδραση του μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου του ηλεκτρικού ρεύματος αυξομειώνει το μαγνητικό πεδίο του μόνιμου μαγνήτη και αντίστοιχα και την έλξη που ασκούσε αυτός πάνω στο διάφραγμα και το έκανε να πάλλεται με τον ίδιο ρυθμό που μεταβάλλονταν το ηλεκτρικό σήμα που διέρρεε το πηνίο. Οι παλμικές αυτές κινήσεις του διαφράγματος μεταδίδονται στον αέρα και δημιουργήσαν ήχο.

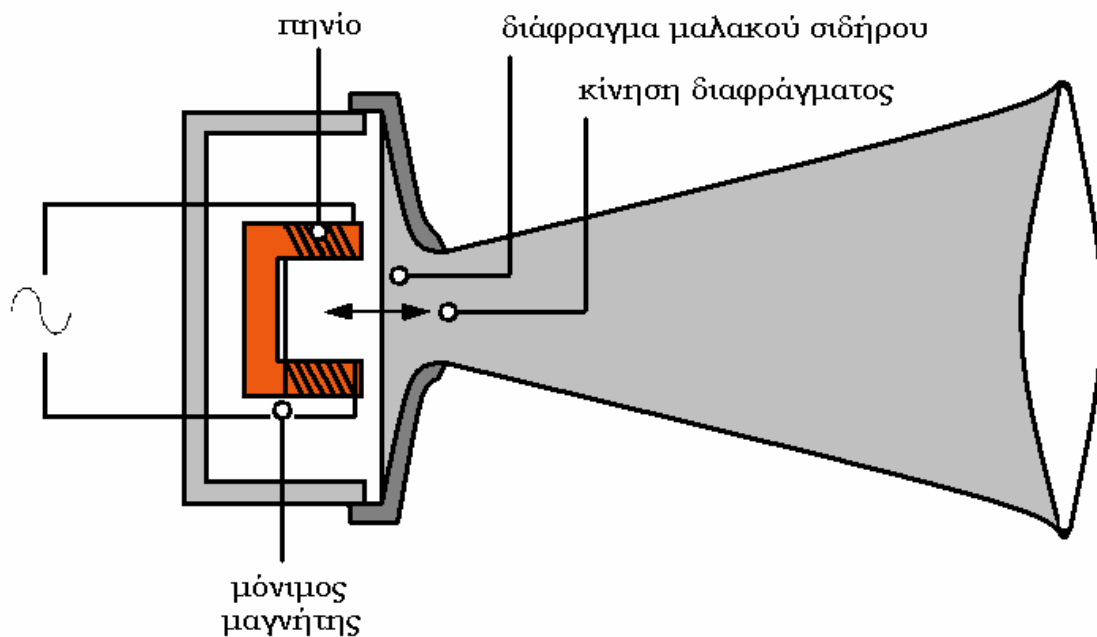
Φυσικά το ακουστικό αυτό ήταν κατάλληλο για χρήση σ' επαφή με το αυτί, γιατί ο παραγόμενος ήχος ήταν παρά πολύ αδύνατος. Όταν, με την πρόοδο της ηλεκτρονικής, δημιουργήθηκαν οι πρώτοι σταθμοί εκπομπών, η ακρόαση τους με ακουστικά ήταν πολύ ενοχλητική. Έτσι τέθηκε αμέσως το ζήτημα δημιουργίας κάποιας συσκευής, που να μπορεί να παράγει ήχους ακουστικούς σε κάποια απόσταση, ώστε να γίνονται αντιληπτοί από πολλούς συγχρόνως ανθρώπους, έτσι που να μην είναι υποχρεωμένοι να φοράνε ακουστικά. Αποτέλεσμα των προσπαθειών για την κάλυψη αυτής της ανάγκης ήταν το megáφωνο.

---

<sup>1</sup> Α. Πετρίδης, *“Ηλεκτροακουστική”* Εκδ: «Ο Επιστήμων» Ιπποκράτους 15, Αθήνα (1974)

## 1.1 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ

Τα πρώτα μεγάφωνα δεν ήταν τίποτα άλλο παρά ένα μεγάλο ακουστικό συνδεδεμένο με έναν τηλεβόα,<sup>2</sup> σχήμα 1.1. Ο ήχος από το διάφραγμα περνούσε μέσα από τον τηλεβόα, ο οποίος μεγάλωνε, κατά κάποιο τρόπο, την ακουστότητά του. Όσο μεγαλύτερος ήταν ο τηλεβόας, τόσο «γλυκύτερος» ήταν ο ήχος, αλλά με τα σημερινά δεδομένα, η παραμόρφωση και ο χρωματισμός του ήχου ήταν απαράδεκτα. Ο τηλεβόας εισήγαγε δικούς του ήχους λόγω των περιορισμένων διαστάσεων του κώνου του. Πέρα απ' αυτό, το διάφραγμα του ακουστικού δεν ανταποκρινόταν πιστά στις διαμορφώσεις του ηλεκτρικού σήματος και οι αντηχήσεις του αέρα μέσα στην κάψα του ακουστικού δημιουργούσαν πρόσθετες παραμορφώσεις. Το διάφραγμα ήταν αρκετά βαρύ και δεν μπορούσε να ακολουθήσει τις πολύ υψηλές συχνότητες. Ήταν επίσης αρκετά δύσκαμπτο και μικρό για τις χαμηλές. Καμιά σύγκριση δεν μπορεί να γίνει με τους τελευταίους απόγονούς του, τα σημερινά μεγάφωνα.



Σχήμα 1.1

Ένας από τους πρώτους τύπους μεγαφώνου κινητού σιδήρου – λίγο μεγαλύτερο από ένα ακουστικό τηλεφώνου με χωνί.

Η πρώτη βελτίωση ήταν η αντικατάσταση του μεταλλικού διαφράγματος με ένα σύστημα οπλισμού σαν ένα κινούμενο γλωσσίδι με εξισορρόπηση ή όχι,

<sup>2</sup> Dave Berriman, *Μεγάφωνα και ηχεία hi – fi, απλή θεωρία και πρακτική*, Εκδόσεις Π. Γαλούτσι σελ.28-34 (1982)

συνδυασμένο με ένα μικρό χάρτινο κωνικό διάφραγμα και με τηλεβόα. Το γλωσσίδι αυτό έμπαινε σε παλμική κίνηση και την μετέδιδε στο χάρτινο διάφραγμα και στον τηλεβόα. Η απόδοση ήταν κατά τι καλύτερη, αλλά οι παραμορφώσεις και ο χρωματισμός από τον τηλεβόα παρέμεναν.

Μια δεύτερη βελτίωση ήταν να καταργηθεί ο τηλεβόας και να συνδεθεί με τον οπλισμό ένα μεγαλύτερο κωνικό διάφραγμα από χαρτί ή επεξεργασμένο ύφασμα. Τώρα η απόδοση ήταν πολύ καλύτερη, αφού πια δεν υπήρχε ο τηλεβόας να την αλλοιώνει τον ήχο και ο μεγαλύτερος χάρτινος κώνος μπορούσε ν' ανταποκριθεί σε αρκετά χαμηλότερες συχνότητες. Όμως για τα σημερινά δεδομένα, ένα τέτοιο μεγάφωνο θα ήταν πολύ αδύνατο και η απόκριση του στις διαμορφώσεις του σήματος δεν θα ήταν πολύ ικανοποιητική. Υπήρχαν ακόμη αντηχήσεις και συντονισμοί, αλλά η χρήση ενός μεγάλου σχετικά χάρτινου κωνικού διαφράγματος έδινε καλά αποτελέσματα και έδειχνε ότι ο δρόμος ήταν σωστός. Χρειαζόταν μόνο να βρεθεί ένας τρόπος προκειμένου να το κάνει να ακολουθεί πιστά τις διαμορφώσεις του ηλεκτρικού σήματος που το τροφοδοτούσε.

### **1.1.1 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΚΙΝΗΤΟΥ ΠΗΝΙΟΥ**

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1920, όλα τα μεγάφωνα είχαν το τύλιγμα του πηνίου τους, μέσα από το οποίο περνούσε το ηλεκτρικό σήμα που έπρεπε να αναπαραχθεί, σταθερά προσαρμοσμένο πάνω στο μόνιμο μαγνήτη (μεγάφωνα στατικού ή σταθερού πηνίου) και μετέδιδαν την παλμική κίνηση στο διάφραγμα μέσω ενός οπλισμού. Το σύστημα αυτό δημιουργούσε πολλά προβλήματα, τα οποία όμως δεν άργησαν να βρουν τη λύση τους, που ήταν πάρα πολύ απλή: να καταργηθεί κάθε σύστημα οπλισμού και να παίξει το ρόλο του οπλισμού το ίδιο το πηνίο. Έτσι γεννήθηκε το μεγάφωνο με κινητό πηνίο.

Στα μέσα περίπου του 1925, δυο μηχανικοί της General Electric στην Αμερική, οι Chester W. Rice και Edgar W. Kellogg, πήραν ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα τέτοιο μεγάφωνο και λίγους μήνες πιο μετά, ο Paul Voigt πήρε και αυτός δίπλωμα για ένα μεγάφωνο με κινητό πηνίο μεγάλης σχετικά ισχύος που συνήθως χρησιμοποιούνταν με τηλεβόα. Το μεγάφωνο των Rice και Kellogg δεν ήταν πολύ ευαίσθητο και οι εφευρέτες του αναγκάστηκαν να κατασκευάσουν έναν ισχυρό για τον καιρό του ενισχυτή, που έδινε στην έξοδο του ισχύ, ενός βατ.

Θα έπρεπε ν' αναφέρει κανείς ότι η ιδέα του μεγαφώνου με κινητό πηνίο δε γεννήθηκε το 1925 για πρώτη φορά. Πολλά χρόνια πριν, το 1898, ο Άγγλος Oliver Lodge είχε πάρει ένα ανάλογο δίπλωμα και πριν απ' αυτόν ο Γερμανός μηχανικός της Siemens, Ernst Werner, το 1877, είχε ασχοληθεί μ' ένα τέτοιο μεγάφωνο. Από το 1925, αξίζει να σημειωθεί, ότι άρχισε η κατασκευή μεγαφώνων που είναι γνήσιοι πρόγονοι των σημερινών μεγαφώνων υψηλής πιστότητας και εργάζονταν με την ίδια ακριβώς αρχή, όπως και αυτά.

Η απλή και εύκολη κατασκευή του και η καλή του απόδοση κάνουν το μεγάφωνο με κινητό πηνίο να κυριαρχεί στον τομέα του και θα κυριαρχεί ακόμα για πολύ καιρό.



## 2. ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ ΜΕΓΑΦΩΝΟΥ

Τα ηχεία (μεγάφωνα) βρίσκονται ανάμεσα στην ηλεκτρική και την ακουστική ενέργεια, γεγονός που σημαίνει ότι στην είσοδο τους θα λαμβάνουν διαφορές τάσης, τις οποίες καλούνται να μετατρέψουν σε ηχητικά κύματα ανάλογης συχνότητας και έντασης, δηλαδή σε διαφορές πίεσης του αέρα.<sup>3</sup> Με εξαίρεση κάποιους τύπους ηχείων που βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο (π.χ., ιονισμού), και ανεξάρτητα από τη μέθοδο μετατροπής που χρησιμοποιούν, όλες οι υλοποιήσεις βασίζουν την λειτουργία τους σε κάποιο είδος επιφάνειας (διάφραγμα) που πάλλεται, σπρώχνοντας και ασκώντας πίεση στη μάζα του αέρα που βρίσκεται σε επαφή μαζί της, και θέτοντας τα σωματίδια της σε ταλάντωση. Η ταλάντωση αυτή θα γεννήσει τα ηχητικά κύματα, που πρέπει να φέρουν και να μεταφέρουν όλα τα ηχητικά χαρακτηριστικά (συχνότητα, πλάτος κ.λπ.) που υπήρχαν και στο ηλεκτρικό σήμα. Στο σημείο αυτό αρχίζουν τα προβλήματα, γιατί τα ηχητικά κύματα έχουν άλλη συμπεριφορά και θέτουν διαφορετικές και συχνά αλληλοσυγκρουόμενες προκλήσεις, ανάλογα με τη συχνότητα τους. Οι υψηλές συχνότητες επιβάλουν την ταχύτατη και ακριβέστατη κίνηση του διαφράγματος και τα στοιχεία του μεγαφώνου θερμαίνονται έντονα εξαιτίας των μεγάλων επιταχύνσεων που αναπτύσσονται. Αυτά όμως τα ζητήματα λύνονται σχετικά εύκολα, ειδικά αν τα αντιμετωπίσουμε ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Η φυσική ωστόσο μας λέει ότι όσο πιο μεγάλο είναι το μήκος κύματος της συχνότητας που θέλουμε να δημιουργήσουμε (χαμηλές συχνότητες), τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η διάμετρος της παλλόμενης επιφάνειας. Μεγάλα διαφράγματα συνεπάγονται και μεγάλες μάζες, κάτι που σημαίνει ότι αυξάνεται η αδράνεια του μεγαφώνου. Έτσι, εμφανίζει αυξημένη αδράνεια και μειωμένη ευαισθησία, ενώ απαιτεί και πολύ μεγαλύτερα ποσά ισχύος για να μετακινηθεί. Επίσης, η ένταση των χαμηλών συχνοτήτων είναι συνυφασμένη με την ποσότητα του αέρα που μπορεί να μετακινήσει το διάφραγμα. Δεν είναι, συνεπώς, παράξενο το γεγονός ότι τα ηχεία είναι ένας μετατροπέας πολύ χαμηλής απόδοσης (μετατρέπουν σε ήχο από το 1% έως το 5% και στις καλύτερες περιπτώσεις έως το 20% της ισχύος που λαμβάνουν), ούτε το ότι αναγκαζόμαστε να καταφεύγουμε στη σχεδίαση μονάδων δύο ή περισσότερων δρόμων, όπου χωριστά διαφράγματα αναλαμβάνουν την αναπαραγωγή διαφορετικών περιοχών συχνοτήτων. Η τακτική πάντως αυτή

---

<sup>3</sup> Gordon J King, *Συστήματα hi-fi, εγκατάσταση και αρχή λειτουργίας*, Εκδόσεις Π. Γαλούτσι (1982)

επιβάλλει τη χρήση δικτυωμάτων διαχωρισμού συχνοτήτων τα λεγόμενα κροσόβερ (crossover), τα οποία ευθύνονται για πολλές από τις ηχητικές αλλοιώσεις που προκαλούν τα ηχεία ειδικά σε μονάδες χαμηλού κόστους.

Όλα αυτά συνθέτουν μια εξαιρετικά πολύπλοκη, αν και όχι δυσεπίλυτη, εξίσωση, και οι προτάσεις που κατακλύζουν την αγορά μπορούν να ικανοποιήσουν κάθε μας απαίτηση σε παρεχόμενη ποιότητα, κόστος και εφαρμογή.

## **2.1 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ**

Η θεμελιώδης λογική λειτουργίας των ηχείων που μόλις περιγράψαμε είναι κοινή σε όλες τις υλοποιήσεις. Από εκεί και πέρα όμως, υπάρχει μια σειρά από διαφορετικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ηχείων και οι οποίες σχετίζονται τόσο με τον τομέα της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ακουστική, όσο και με τον ιδιαίτερο τρόπο που πραγματοποιείται η διέγερση του διαφράγματος.

### **2.1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ**

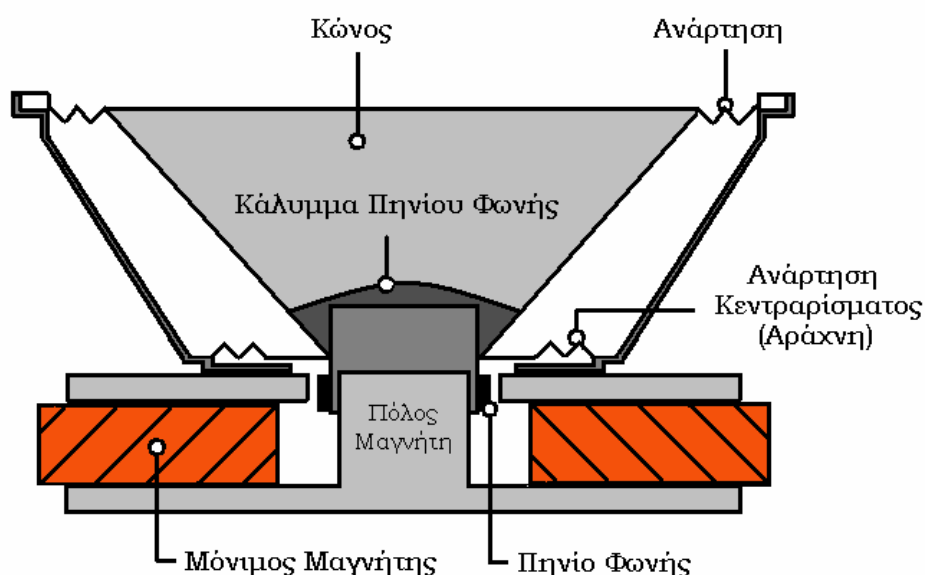
Ο πιο δημοφιλής και διαδεδομένος τύπος μεγαφώνων είναι τα ηλεκτροδυναμικά, που έχουν εξάλλου και την πιο μακρόχρονη ιστορία. Εδώ συναντάμε τους γνωστούς μας κώνους και θόλους, που αποτελούν τη βιτρίνα των ηχείων αυτών, αφού είναι τα διαφράγματα και το μόνο τμήμα των μεγαφώνων τους που φαίνεται. Τα ηλεκτροδυναμικά ηχεία βασίζονται στις αρχές της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, σύμφωνα με τις οποίες όταν ένας αγωγός που τον διαρρέει ρεύμα κινηθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, ασκούνται πάνω του δυνάμεις Laplace<sup>4</sup> που έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του αγωγού και την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα άκρα του.

Στην καρδιά των μεγαφώνων βρίσκεται ένας ισχυρός μόνιμος μαγνήτης κυλινδρικού σχήματος, στο κέντρο του οποίου υπάρχει μια κυλινδρική ράβδος (πόλος μαγνήτη). Ανάμεσα τους δημιουργείται ένα κυλινδρικό διάκενο λίγων χιλιοστών,

---

<sup>4</sup> M. D. Hill, C. Eng., A.M.I.E.R.E., *Building Hi-Fi Speaker Systems*, N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven – The Netherlands σελ. 34-39 (1980)

μέσα στο οποίο αναπτύσσεται ένα ισχυρό, ομογενές και σταθερής έντασης μαγνητικό πεδίο. Στο διάκενο και γύρω από τον πόλο, προσαρμόζεται το πηνίο φωνής, αγωγός τυλιγμένος σε σπείρες, το οποίο κινείται ελεύθερα μέσα στο μαγνητικό πεδίο του διάκενου και υποβοηθείται από μία ειδική ελαστική ανάρτηση (αράχνη) που φροντίζει ώστε το πηνίο να μην ακουμπά στον πόλο και να λειτουργεί σαν να αιωρείται. Όταν τον αγωγό του πηνίου διαρρέει εναλλασσόμενο ρεύμα (που μεταφέρει τα χαρακτηριστικά του ήχου), τότε στο διάκενο θα αναπτυχθούν δυνάμεις Laplace που ωθούν το πηνίο σε παλινδρομική κίνηση μπρος – πίσω. Όπως συμβαίνει για παράδειγμα, με τις χορδές μιας κιθάρας, έτσι και η επιφάνεια του πηνίου είναι επαρκής μόνο για την παραγωγή ήχου ελάχιστης έντασης. Η λύση είναι η προσαρμογή στο εξωτερικό μέρος του πηνίου ενός διαφράγματος, το μέγεθος της επιφάνειας του οποίου καθορίζεται από τη χαμηλότερη συχνότητα που επιθυμούμε να αναπαράγουμε. Για τις χαμηλές συχνότητες χρησιμοποιούμε

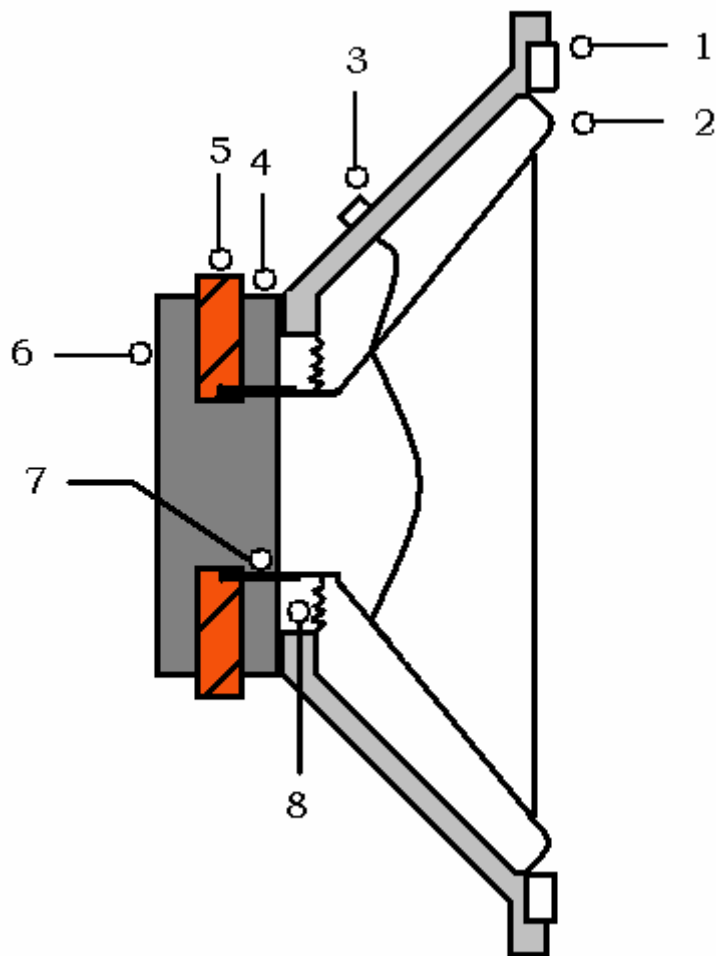


**Σχήμα 2.1**

Η βασική διάταξη ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου.

κόνους διαφόρων διαμέτρων, ενώ για τις υψηλές συνηθίζεται η εφαρμογή ημισφαιρικών διαφραγμάτων (θόλων) που έχουν διάμετρο ίση με αυτήν του πηνίου. Όλη αυτή η σύνθετη κατασκευή ονομάζεται μεγάφωνο. Όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος του κώνου, τόσο μεγαλύτερο πρέπει να είναι το πηνίο φωνής (και ο μαγνήτης), κάτι που οδηγεί σε μεγάφωνα μεγάλης μάζας και αδράνειας, δηλαδή σε συστήματα που απαιτούν μεγάλη ισχύ και αντιστέκονται τόσο στην έναρξη της

κίνησης τους όσο και στη μεταβολή ή την παύση της. Παράλληλα οι κώνοι μεγάλης διαμέτρου τείνουν να παραμορφώνουν στα άκρα τους, γιατί η δύναμη του πηνίου ασκείται σε μια πολύ μικρή επιφάνεια του κέντρου τους. Έτσι, απαιτούνται ελαφρά υλικά με μεγάλη ακαμψία (στοιχεία αλληλοαναιρούμενα), κάτι που μας οδηγεί στη χρήση σύνθετων ή εξωτικών υλικών, όπως το πολυπροπυλένιο, το Kevlar, το εμποτισμένο με ειδικές ρητίνες χαρτί, το τιτάνιο και κάθε λογής κράματα και υφάσματα.<sup>5</sup>



Σχήμα 2.2

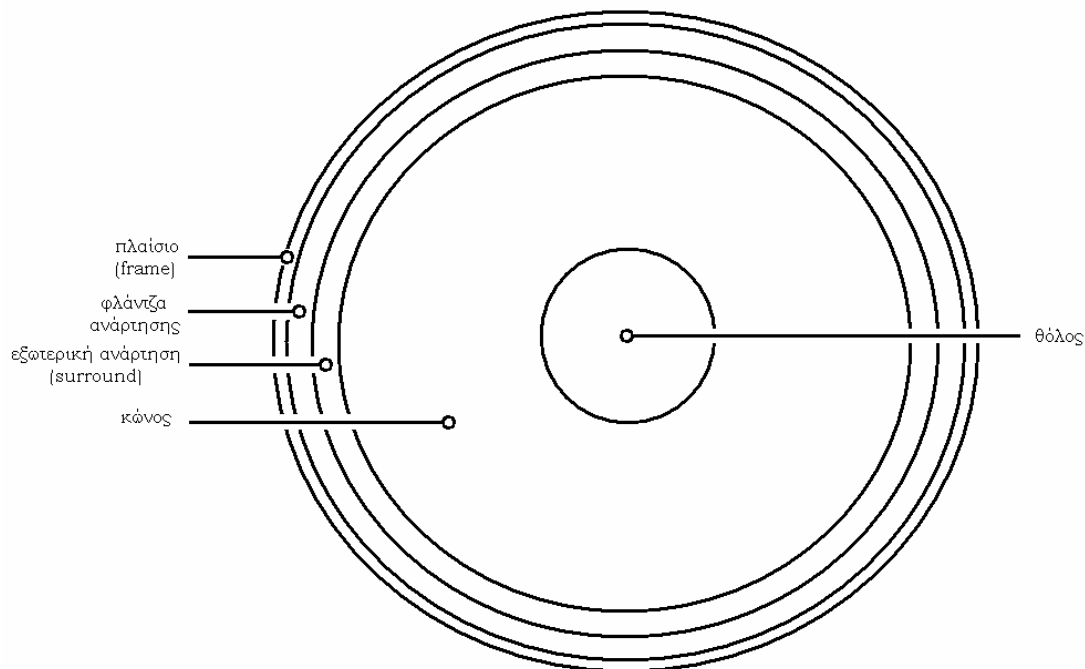
Πλάγια τομή ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου.

Όπου:

- 1 Διάφραγμα απείρων διαστάσεων
- 2 Εύκαμπτα άκρα αναρτήσεων και απόσβεσης ταλαντώσεων
- 3 Ακροδέκτης πηνίου φωνής

<sup>5</sup> John M. Eargle, *Μουσική ακουστική τεχνολογία*, Εκδ: Ιων σελ.358-364 (1999)

- 4 Μπροστινή πλάκα ή εμπρόσθιος πόλος
- 5 Μαγνήτης
- 6 Πίσω πλάκα, οπίσθιος πόλος
- 7 Πηνίο φωνής και μορφοποίησης
- 8 Εύκαμπτο κέντρο αναρτήσεως και απόσβεσης ταλαντώσεων (spider)



Σχήμα 2.3

Μπροστινή όψη ενός ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου.

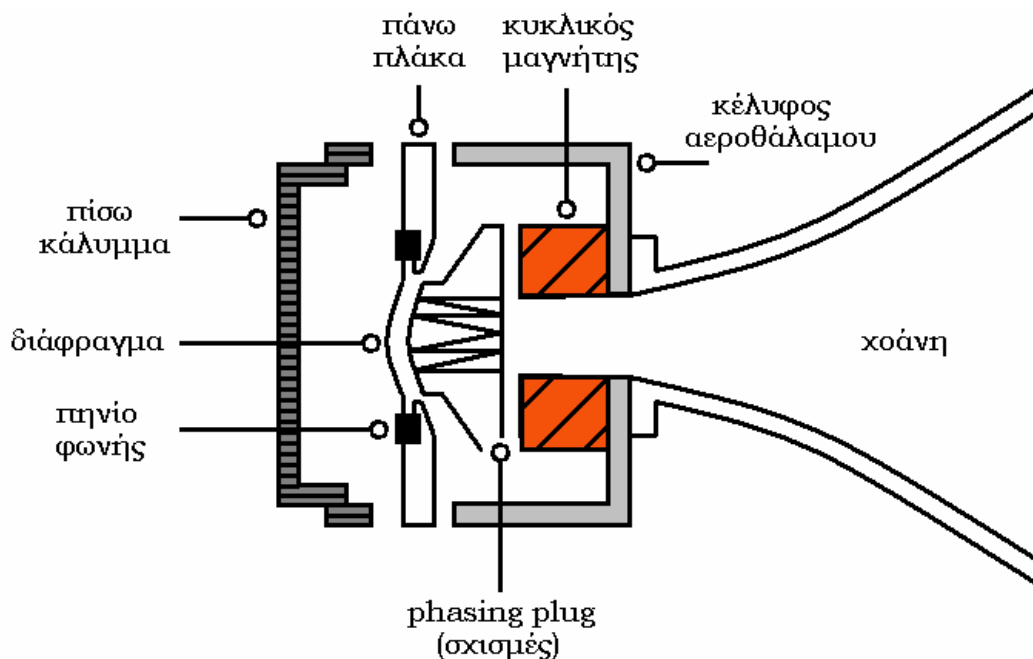
### 2.1.2 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑΙΝΙΑ

Μια διαφορετική εφαρμογή της ίδιας αρχής που χρησιμοποιεί το ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο είναι το μεγάφωνο με ταινία. Εδώ, αντί για πηνίο χρησιμοποιείται ένα κομμάτι κυματοειδούς ταινίας, συνήθως από αλουμίνιο, η οποία βρίσκεται και αυτή ανάμεσα στους πόλους ενός μονίμου μαγνήτη. Η αντίσταση που παρουσιάζεται στη ροή του ρεύματος είναι πάρα πολύ μικρή, μόλις ένα μικρό κλάσμα του  $\Omega$  και γι' αυτό τέτοια μεγάφωνα χρησιμοποιούνται πάντα μαζί με έναν μετασχηματιστή. Ένα άλλο μειονέκτημα της ταινίας είναι ότι είναι πολύ ελαφριά και κινείται τόσο γρήγορα, ώστε κινδυνεύει να αυτοδιαλυθεί. Για να γίνει κάπως σταθερότερη χρησιμοποιείται πάντα σε συνδυασμό με χοάνη.

### 2.1.3 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΚΟΡΝΑΣ Η ΧΟΑΝΗΣ

Η χοάνη είναι ένας κολουρος κώνος ή μια κολουρος πυραμίδα με μεταβαλλόμενη γωνία κορυφής σύμφωνα με έναν εκθετικό ή υπερβολικό νόμο.<sup>6</sup> Η δράση του είναι να ενισχύει τους ήχους σαν ένας ηχητικός μετασχηματιστής. Το μεγάλο άκρο του ονομάζεται στόμιο και το μικρό άκρο του λαιμός. Η λειτουργία του στηρίζεται στην ικανότητα του να μετατρέπει μικρές διαφορές πίεσης που δημιουργούνται στον λαιμό του, σε πολύ μεγαλύτερες διαφορές στο στόμιο. Έτσι στην πραγματικότητα, η μεταλλική ταινία ή διάφραγμα που βρίσκεται ακριβώς στο λαιμό της χοάνης είναι υποχρεωμένη να πάλλεται μπροστά σ' έναν κατά κάποιο τρόπο πολύ πιο ισχυρά συμπιεσμένο και αντιστεκόμενο αέρα και έτσι οι παλμικές κινήσεις της περιορίζονται και ο κίνδυνος αυτοκαταστροφής της παύει να υφίσταται.

Η φόρτωση με χοάνη της ταινίας παρουσιάζει ένα πολύ σοβαρό πλεονέκτημα έναντι των συνηθισμένων μεγαφώνων.<sup>7</sup> Όπως είναι γνωστό από τη φυσική, η μηχανική (ακουστική) αντίσταση που παρουσιάζει το διάφραγμα των μεγαφώνων για να τεθεί



Σχήμα 2.4

Λεπτομέρειες του οδηγού συμπίεσης υψηλών συχνοτήτων και της συνδεδεμένης χοάνης

<sup>6</sup> Gary Davis, Ralph Jones, *The Sound Reinforcement Handbook*, Copyright 1987, 1989 by Yamaha Corporation of America and Gary Davis & Associates σελ. 216-221

<sup>7</sup> Dave Berriman, *Μεγάφωνα και ηχεία hi - fi, απλή θεωρία και πρακτική*, Εκδόσεις Π. Γαλούτσι σελ.38-50 (1982)

σε παλμική κίνηση, είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίσταση που παρουσιάζει ο αέρας στη φυσική του κατάσταση. Η δε μετάδοση ενέργειας με την παλμική κίνηση από ένα σώμα στο άλλο γίνεται μέγιστη, όταν οι αντιστάσεις των δύο σωμάτων στην κίνηση αυτή είναι ίδιες. Αυτός είναι ο λόγος του χαμηλού βαθμού απόδοσης των μεγαφώνων στη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας του σήματος σε ηχητική.

Η χοάνη αυξάνοντας την πίεση του αέρα στο σημείο που γίνεται η μεταβίβαση της ενέργειας από το παλλόμενο στοιχείο, είτε ταινία είναι αυτό, είτε διάφραγμα με κινητό πηνίο, μειώνει τη διαφορά ακουστικής αντίστασης των δύο στοιχείων μεταξύ των οποίων γίνεται η μεταβίβαση της ενέργειας και βελτιώνει το βαθμό απόδοσης της μεταβίβασης αυτής.

Η χοάνη όμως, παρουσιάζει και μερικά μειονεκτήματα. Η ικανότητα της να συμπυκνώνει τον αέρα μπροστά από το διάφραγμα ή τη μεταλλική ταινία του μεγαφώνου μηδενίζεται, όταν η συχνότητα του ενισχυόμενου ήχου πέσει κάτω από ένα όριο συχνότητας, χαρακτηριστικό για καθ' ένα συγκεκριμένο σχήμα. Η συχνότητα αυτή ονομάζεται συχνότητα αποκοπής και εξαρτάται από τη γεωμετρική διαμόρφωση. Όσο μεγαλύτερη είναι η σχέση των εμβαδών των δύο άκρων σε σχέση με το μήκος, τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα αυτή. Έτσι υπάρχει ένα όριο στις διαστάσεις της χοάνης. Υπάρχει επίσης ένα όριο στην ένταση του αρχικού ήχου, γιατί, αν η μεταλλική ταινία ή το διάφραγμα γίνουν μεγαλύτερα για να μπορούν να θέσουν σε κίνηση μεγαλύτερες ποσότητες αέρα, τότε πρέπει να γίνει μεγαλύτερο και το διάκενο μεταξύ των πόλων του μαγνήτη, τότε, όμως, η ένταση του μαγνητικού πεδίου μειώνεται, με συνέπεια να μειώνεται αντίστοιχα και η ένταση του ήχου που παράγει η ταινία ή το διάφραγμα.

Η χαμηλότερη συχνότητα λειτουργίας για τα περισσότερα μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων (tweeters), που χρησιμοποιούν μεταλλική ταινία αντί για διάφραγμα, είναι γύρω στα 1000 ως 1500 Hz, έστω και αν η συχνότητα αποκοπής της χοάνης τους είναι αρκετά χαμηλότερη και τούτο γιατί σε συχνότητες κοντά στη συχνότητα αποκοπής οι χοάνες δημιουργούν παραμορφώσεις και προσθέτουν δικούς τους χρωματισμούς στους ήχους.

Τα μεγάφωνα με ταινία και χοάνη, παρά τα πλεονεκτήματα που έχουν δεν χρησιμοποιούνται συχνά.

#### 2.1.4 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΜΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ

Στην ιστορία των μονάδων παραγωγής ήχου αναφέρονται πολλές προσπάθειες να συνδυαστεί το κινητό πηνίο των μεγαφώνων με ένα επίπεδο διάφραγμα αντί για το συνηθισμένο κωνικό, του οποίου η συμπεριφορά δεν ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις του τέλειου μεγαφώνου. Ένα πρώιμο παράδειγμα ενός τέτοιου μεγαφώνου είναι η κατασκευή του Blatthaller του 1925, στην οποία οι αγωγοί που έφεραν το ηλεκτρικό σήμα ήταν διατεταγμένοι ζικ-ζακ πάνω σ' ένα επίπεδο διάφραγμα, που βρισκόταν σε εναλλασσόμενους Βόρειους και Νότιους μαγνητικούς πόλους και έτσι το διάφραγμα αυτό κινιόταν ολόκληρο εμπρός και πίσω και πλησίαζε πολύ περισσότερο στις επιζητούμενες ιδανικές συνθήκες της λειτουργίας του.

Δυστυχώς για τον εφευρέτη του, η ιδέα του ήταν πιο μπροστά από τις τεχνικές δυνατότητες του καιρού του. Το διάφραγμά του, που είχε επάνω του κολλημένους αγωγούς, ήταν πολύ βαρύ και παρουσίαζε μικρή σχετικά ευαισθησία ιδιαίτερα στις υψηλές συχνότητες.

Τα σημερινά μεγάφωνα με επίπεδα διαφράγματα χρησιμοποιούν λεπτότατα πλαστικά φύλλα με ενσωματωμένους αγωγούς και επειδή οι σημερινοί μαγνήτες είναι πολύ ισχυρότεροι, οι αποδόσεις τους είναι πάρα πολύ καλές.

Τα μεγάφωνα αυτά έχουν δύο σειρές από μαγνητικές ράβδους, τη μία απέναντι από την άλλη και το διάφραγμα ανάμεσα τους. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα με πολύ ελαφρά κινούμενα μέρη, τα οποία δίνουν ισχυρές εντάσεις ήχου, χωρίς να έχουν ανάγκη από χοάνη. Επίσης, δεν χρειάζονται μετασχηματιστή μεταξύ μεγαφώνου και ενισχυτή, γιατί είναι εύκολο να δημιουργηθεί πάνω στο διάφραγμα αγωγός αρκετού μήκους, ώστε η σύνθετη αντίσταση του να καλύπτει τις ανάγκες του ενισχυτή. Μια καλή εφαρμογή του συστήματος έχει γίνει στα ακουστικά Isodynamic της Wharfedale και σε μεγάφωνα του ίδιου κατασκευαστή.

Επίσης, η αμερικανική Audio Research Corporation έχει έναν τύπο επίπεδου μεγαφώνου που έχει σύνθετη αντίσταση 8 Ωμ, αποτελείται από τρία μεγάλα επίπεδα διαφράγματα (σαν παραβάν) και έχει χωριστό διάφραγμα για τις χαμηλές και χωριστό για τις υψηλές συχνότητες. Οι συνολικές διαστάσεις κάθε μεγαφώνου αυτού του τύπου είναι 400 x 1830 x 19 mm. Βέβαια η τιμή αγοράς του είναι πολύ υψηλή, αλλά ανάλογα υψηλή είναι και η απόδοσή του.

Η εταιρία Strathearn Audio του Belfast έχει κατασκευάσει ένα μεγάφωνο για μεσαίες και υψηλές συχνότητες πάνω στην ίδια αρχή λειτουργίας. Έχει έξι



μαγνητικές ράβδους απ' έξω και απ' εκεί απ' το διάφραγμα, το οποίο όμως, έχει μόνο ένα βρόγχο αγωγού. Έτσι η σύνθετη αντίσταση του είναι πολύ μικρή και γι' αυτό χρειάζεται μετασχηματιστή.

### **2.1.5 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ ΑΕΡΑ (HEIL, AMT)**

Τα μεγάφωνα αυτά πολλές φορές ονομάζονται μεγάφωνα με επίπεδο διάφραγμα, σε αντιδιαστολή με τα μεγάφωνα με κωνικό διάφραγμα. Όμως στην πραγματικότητα, το διάφραγμα τους δεν είναι επίπεδο αλλά κυματοειδές πολυπτυχωτό. Εφευρέθηκαν από τον Dr. Oskar Heil γι' αυτό και συχνότατα αναφέρονται με το όνομα του, δηλαδή μεγάφωνα Heil.

Ο αγωγός του ακουστικού σήματος σχηματίζει ένα δίκτυο ζιγκ-ζαγκ πάνω στο διάφραγμα και έτσι το μήκος του είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να δημιουργηθεί η απαιτούμενη αντίσταση, για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς μετασχηματιστή. Όμως τα μαγνητικά πεδία των μόνιμων μαγνητών δεν είναι παράλληλα με τη γενική κατεύθυνση του κυματοειδούς διαφράγματος, αλλά κάθετα προς αυτό, πράγμα που σημαίνει ότι το διάφραγμα παίρνει από το μαγνητικό πεδίο μια τάση να κινηθεί εμπρός – πίσω, παράλληλα προς το γενικό επίπεδο του και όχι κάθετα προς αυτό, όπως συμβαίνει με όλα τα μεγάφωνα. Λόγω όμως την κυματοειδούς διαμόρφωσης του διαφράγματος, (σαν μια μαζεμένη κουρτίνα), δημιουργείται, από τις διαμήκεις μεταβαλλόμενες δυνάμεις που ασκεί το μαγνητικό πεδίο πάνω στο διάφραγμα, μια τάση να ανοιγοκλείνουν τα διάκενα ανάμεσα στις πτυχές του διαφράγματος και έτσι προκαλούνται συμπιέσεις και αραιώσεις του αέρα που προκαλούν του ήχους. Η ιδέα είναι πάρα πολύ απλή και ο αέρας που τίθεται σε κίνηση από ένα τέτοιο κυματοειδές διάφραγμα είναι πολύ περισσότερος απ' ότι θα ήταν, αν το διάφραγμα ήταν επίπεδο. Από το γεγονός αυτό έχουν πάρει τα μεγάφωνα αυτού του τύπου το όνομα Air motion transformers (AMT) μετασχηματιστές κίνησης αέρος. Ένα μειονέκτημα των μεγαφώνων αυτών ήταν ότι οι μαγνήτες έπνιγαν τον παραγόμενο ήχο. Νεότερες κατασκευές, όμως, έχουν τους μαγνήτες τους σαν χτένια και έτσι ο ήχος περνά ανάμεσά τους.

Βέβαια υπάρχουν όρια που περιορίζουν τις διαστάσεις αυτών των μεγαφώνων και οι πλευρικές μετακινήσεις των πτυχών του διαφράγματος δεν είναι απόλυτα ελεύθερες. Έτσι μέχρι σήμερα τα μεγάφωνα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται

μόνο για μεσαίες και υψηλές συχνότητες από 700 Hz και άνω. Όπως και σε άλλους τύπους μεγαφώνων που χρησιμοποιούν πολύ ελαφρά κινητά μέρη η απόκριση τους σε μεταβολές των ήχων είναι πολύ καλή.

### **2.1.6 ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ**

Στα μεγάφωνα αυτά ο μαγνητισμός δεν υπεισέρχεται καθόλου. Εδώ η δύναμη που έλκει το κινητό μέρος του μεγαφώνου είναι η ίδια που έλκει τις τρίχες της κεφαλής μας προς το χτένι, όταν ο καιρός είναι πολύ ξηρός ή που κάνει τις σκόνες να κολλάνε πάνω στους δίσκους μας. Το απλό αυτό καθημερινό φαινόμενο κάνει να δημιουργούνται ηλεκτρικά φορτία πολλών χιλιάδων βολτ, αλλά ελάχιστων αμπερ και έτσι δεν μπορούν να κάνουν κακό.

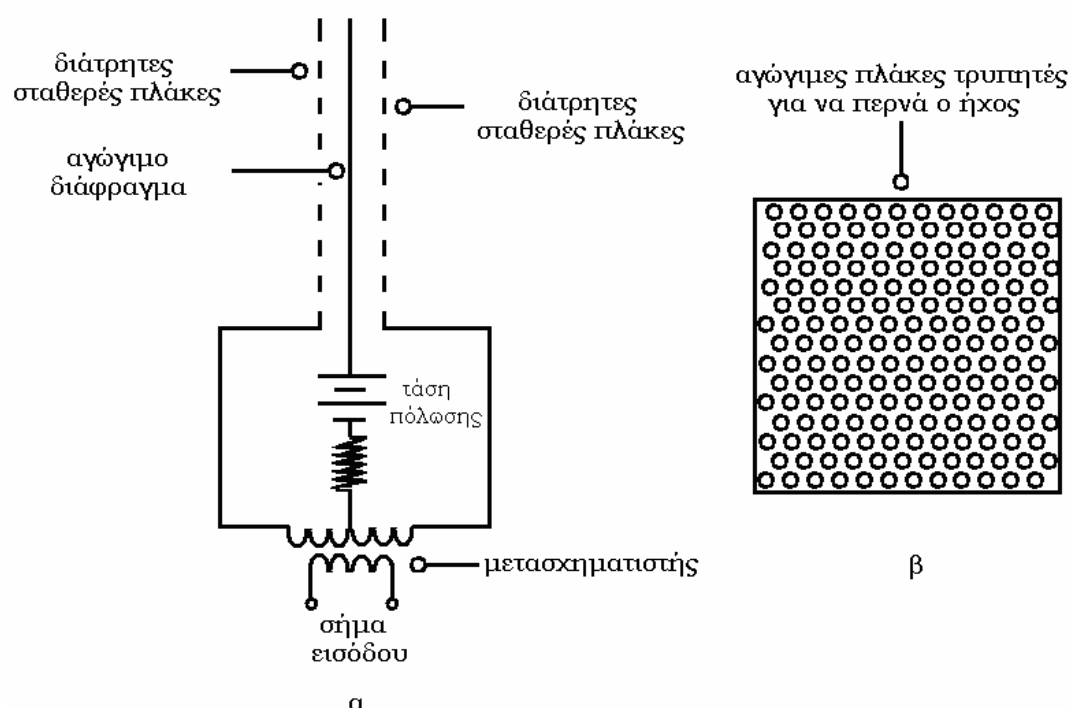
Στα ηλεκτροστατικά μεγάφωνα, το διάφραγμα είναι ένα πολύ λεπτό και ελαφρό πλαστικό φύλλο, του οποίου η επιφάνεια έχει γίνει ελαφρά αγωγίμη. Το διάφραγμα δε φέρει κανένα ρεύμα και έτσι η αντίσταση του μπορεί να γίνει πολύ μεγάλη. Έτσι όπως είναι, τοποθετείται ανάμεσα σε δύο αγωγίμες μεταλλικές διάτρητες πλάκες.

Η αρχή της λειτουργίας του μεγαφώνου αυτού είναι ότι, αν δημιουργηθούν ισχυρά φορτία πόλωσης μεταξύ του πλαστικού διαφράγματος και των μεταλλικών πλακών, θα δημιουργηθούν δυνάμεις έλξης μεταξύ τους. Όσο οι διαφορές δυναμικού μεταξύ διαφράγματος και πλακών είναι ίδιες - οπότε και οι δυνάμεις που θα ασκούνται επάνω τους θα είναι ίσες - το διάφραγμα θα μένει ακίνητο ανάμεσα στις πλάκες. Όταν όμως, οι διαφορές αυτές γίνουν άνισες, το διάφραγμα θα έλκεται κάθε φορά περισσότερο προς την πλάκα που έχει το υψηλότερο δυναμικό. Αν τις διαφορές αυτές τις δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα ακουστικών συχνοτήτων, το διάφραγμα θα πάλλετε σύμφωνα με τη διαμόρφωση του σήματος και θα παράγει αντίστοιχο ήχο.

Βέβαια και εδώ υπάρχουν δυσκολίες στην εφαρμογή αυτής της τόσο απλής, φαινομενικά, αρχής. Πρώτα – πρώτα, καθώς δεν υπάρχει κλειστό κύκλωμα μεταξύ του ενισχυτή και των πλακών, παρουσιάζεται μια πολύ μεγάλη σύνθετη αντίσταση (εμπέδηση) και έπειτα οι πλάκες δρουν σαν πυκνωτής και η σύνθετη αυτή αντίσταση μειώνεται όταν αυξάνει η συχνότητα. Οπωσδήποτε, όμως, η σύνθετη αντίσταση σε καμία περίπτωση δε γίνεται αρκετά μικρή, ώστε να μπορεί ένα τέτοιο μεγάφωνο, να συνδεθεί άμεσα στον ενισχυτή του. Γι' αυτό παρεμβαίνει πάλι ο παλιός μας γνώριμος, ο μετασχηματιστής, με τη διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιείται όχι για να κατεβάσει, αλλά για να ανεβάσει την τάση, σε τρόπο ώστε να γίνει αρκετά μεγάλη

και να μπορέσει να ασκήσει αρκετή δύναμη πάνω στο διάφραγμα. Ο μετασχηματιστής μειώνει αντίστοιχα τη μεγάλη σύνθετη αντίσταση που παρουσιάζει το ανοικτό κύκλωμα των πλακών και την φέρνει σε όρια ανεκτά από τον ενισχυτή και δημιουργεί μια ισοζυγισμένη έλξη και άπωση του διαφράγματος προς τις πλάκες.

Η μεγάλη διηλεκτρική αντίσταση του διαφράγματος κάνει να δημιουργείται ένα σταθερό ηλεκτρικό φορτίο μεταξύ του διαφράγματος και των πλακών και έτσι, απαγορεύοντας τη διόδο ρεύματος από τη μία πλάκα στην άλλη, κάνει τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο διάφραγμα να εξαρτιούνται αποκλειστικά και μόνο από τις διαφορές δυναμικού μεταξύ των πλακών.



Σχήμα 2.5

Το ηλεκτροστατικό μεγάφωνο: α τμηματική άποψη τομής των βασικών στοιχείων μετατροπής και β πρόσοψη του στοιχείου

Οι δυνάμεις αυτές δεν επηρεάζονται από τη θέση του διαφράγματος ως προς τις πλάκες, ακόμη και αν το διάφραγμα μετακινηθεί λίγο προς τη μία από τις πλάκες. Έτσι έχουμε ένα διάφραγμα που ακολουθεί πιστά τις διαφορές δυναμικού που δημιουργεί το ακουστικό σήμα, όπως δηλαδή και στα ηλεκτρομαγνητικά μεγάφωνα, αλλά με το πλεονέκτημα της πολύ μικρής μάζας και της άσκησης των δυνάμεων σ' ολόκληρη την επιφάνεια του διαφράγματος.

Φυσικά υπάρχουν και εδώ μειονεκτήματα και περιορισμοί, όπως π.χ. ο περιορισμός της αρχικής διαφορά δυναμικού για τη διατήρηση του διαφράγματος

στην εντατική κατάσταση και των διαφορών δυναμικού που δημιουργούνται από το ακουστικό σήμα. Αν οι διαφορές αυτές είναι πολύ μεγάλες, ιονίζουν τον αέρα ανάμεσα στις πλάκες και τον κάνουν αγώγιμο, τότε δημιουργούνται σπινθήρες οι οποίοι τρυπούν το διάφραγμα.

Παρά τα μειονεκτήματα της αυτή, έγιναν μερικές πολύ πετυχημένες εφαρμογές της ηλεκτροστατικής αρχής. Μια τέτοια είναι το μεγάφωνο Quad, της αγγλικής εταιρίας Acoustical Manufacturing Company. Το μεγάφωνο αυτό εμφανίστηκε στην αγορά στα μέσα της δεκαετίας του 1950 και με διάφορες μικροβελτιώσεις κατασκευάζεται ακόμα. Υπάρχουν δε πολλοί θιασώτες των hi – fi που, παρά τις περιορισμένες ικανότητες του σε ισχύ (μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μεγάφωνο υψηλών συχνοτήτων tweeter με ενισχυτές το πολύ 50βατ), το θεωρούν ένα από τα καλύτερα.

Φυσικά το Quad δεν είναι το μόνο ηλεκτροστατικό μεγάφωνο, ένας μάλιστα τύπος απ' αυτά, το Dayton Wright XG8 MKIII, πρέπει να αναφερθεί ιδιαίτερα, γιατί χρησιμοποιεί ένα ειδικό αέριο ανάμεσα στις πλάκες για να μειώνει τις πιθανότητες παραγωγής σπινθήρων και καταστροφής του διαφράγματος. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιούν σημαντικά υψηλότερες διαφορές δυναμικού, αλλά επειδή στις υψηλές συχνότητες η σύνθετη αντίσταση είναι, όπως είπαμε, μικρή, χρησιμοποιούνται τα μεγάφωνα αυτά στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες και οι υψηλές οδηγούνται σε πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα για τα οποία θα μιλήσουμε αμέσως παρακάτω.

### **2.1.7 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ**

Τα πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα στηρίζονται στην ιδιότητα που έχουν μερικοί κρύσταλλοι, όπως ο χαλαζίας, να συστέλλονται ή να διαστέλλονται, όταν βρίσκονται μέσα σ' ένα ηλεκτρικό πεδίο. Η συστολή ή η διαστολή εξαρτάται από τη φορά του πεδίου και της κρυσταλλογραφικής διαμόρφωσης του κρυστάλλου. Αν το πεδίο δεν είναι σταθερό αλλά είναι εναλλασσόμενο, ο κρύσταλλος τίθεται σε μια εξαναγκασμένη ταλάντωση (παλμική κίνηση).

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο ήταν γνωστό από πολλά χρόνια. Πρώτοι το παρατήρησαν και το περιέγραψαν οι Pierre και Jacques Curie.

Ο κρύσταλλος πρέπει να κοπεί κατά μια ορισμένη κατεύθυνση ως προς την κρυσταλλογραφική του διαμόρφωση και να τεθεί ανάμεσα σε δύο αγώγιμες επιφάνειες. Αν οι δύο αυτές επιφάνειες συνδεθούν με τους πόλους ενός συσσωρευτή,

σχήμα 2.6 ο κρύσταλλος γίνεται λεπτότερος και μακρύτερος. Αν αντιστραφούν οι πόλοι, ο κρύσταλλος γίνεται παχύτερος και βραχύτερος. Βέβαια οι αλλαγές αυτές των διαστάσεων του κρυστάλλου είναι πολύ μικρές, μόλις λίγα εκατοστά του χιλιοστού, αν, όμως, δύο κρύσταλλοι κολληθούν ο ένας αντίστροφα προς τον άλλο, από κρυσταλλογραφική αποκολληθούν ο ένας αντίστροφα προς τον άλλο, από κρυσταλλογραφική άποψη σχηματίζεται ένα δικρυσταλλικό στοιχείο, το οποίο, υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου, κάμπτεται ή συστρέφεται κατά τρόπο πιο εμφανή από τη συστολή ή τη διαστολή του. Μέσα σ' ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο ο κρύσταλλος παραμορφώνεται κατά τρόπο απόλυτα σύμφωνο με τη διαμόρφωση του ηλεκτρικού πεδίου.

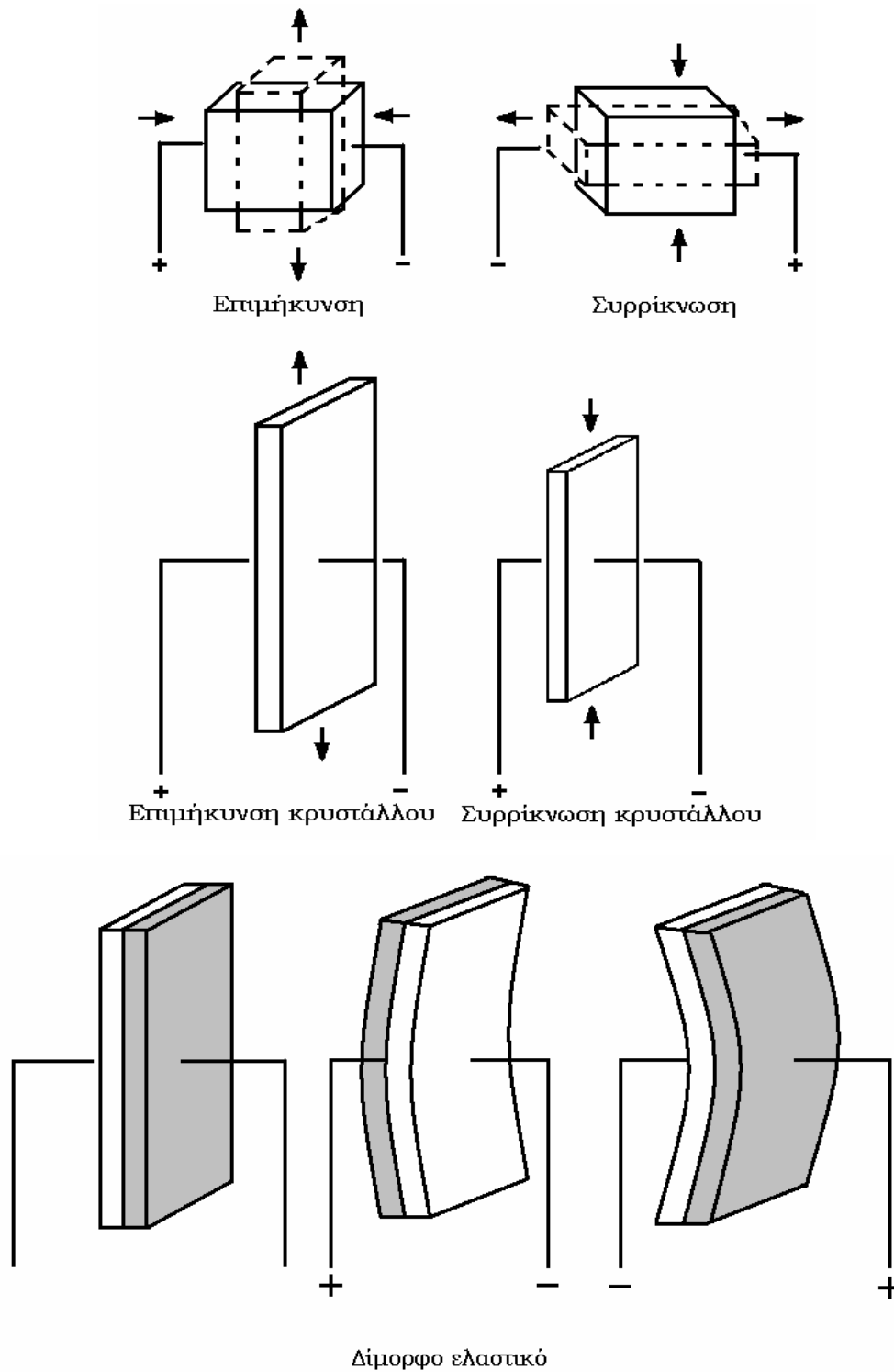
Έτσι μπορούμε να έχουμε μια απόλυτη αντιστοιχία των παλμικών κινήσεων του κρυστάλλου, με τη διαμόρφωση του ακουστικού σήματος που τροφοδοτεί το ηλεκτρικό πεδίο.

Επειδή οι κινήσεις του κρυστάλλου είναι πολύ μικρές, δεν αρκούν για να θέσουν σε κίνηση αρκετές ποσότητες αέρα, ώστε να δημιουργήσουν ήχους αρκετής έντασης και έτσι οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι χρησιμοποιούνται πάντα σε συνδυασμό με διάφραγμα ή χοάνες και συνήθως για συχνότητες πάνω από 3000 Hz (μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων - tweeters).

Από άποψη σύνθετης αντίστασης, τα πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα μοιάζουν πολύ με τα ηλεκτροστατικά. Δηλαδή η σύνθετη αντίσταση τους είναι πολύ μεγάλη και μειώνεται καθώς αυξάνει η συχνότητα, συμπεριφέρονται δηλαδή σαν πυκνωτές. Ευτυχώς, όμως, η αντίσταση αυτή μένει τελικά αρκετά υψηλά και έτσι δε θέτουν προβλήματα ασφαλείας στα κυκλώματα του ενισχυτή.

Τα παλαιότερα πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα χρησιμοποιούσαν για κρύσταλλο άλατα της Roshelle, που ήταν πολύ λίγο ευαίσθητα, εύθραυστα και επηρεάζονταν πολύ από την υγρασία. Συνδέονταν με τον ενισχυτή τους είτε κατ' ευθείαν, είτε μέσω μετασχηματιστή. Τα σημερινά χρησιμοποιούν για κρυστάλλους κεραμικά από άλατα μόλυβδου ή τιτανίου, που είναι πολύ πιο ευαίσθητα (ηχητικά) και πιο γερά (μηχανικά) και επιπλέον, δε χρειάζεται πια να κοπούν σύμφωνα με κάποια ορισμένη κρυσταλλογραφική διάταξη.

Τα κεραμικά αυτά υλικά είναι μόνιμα πολωμένα με μια τάση που επιβάλλεται κατά την κατασκευή τους. Έτσι τα πλεονεκτήματα των πιεζοηλεκτρικών μεγαφώνων με τέτοιους κρυστάλλους είναι: μεγάλη ευαισθησία, πολύ καλή απόκριση στη διαμόρφωση του ακουστικού σήματος λόγω του μικρού βάρους των κινούμενων



**Σχήμα 2.6**

Οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι αλλάζουν τις διαστάσεις τους, όταν τους εφαρμοστεί μια τάση. Έτσι ένας επιμηκυνόμενος και ένας επιβραχυνόμενος κρύσταλλος, κολλημένοι μαζί, θα κάμπτονται. Μ' άλλα λόγια δύο δίσκοι μπορούν να κολληθούν έτσι που να γίνονται άλλοτε κοίλοι και άλλοτε κυρτοί, εναλλακτικά. Αν σ' αυτούς τους δίσκους κολληθεί ένας κώνος, τότε έχουμε έναν τύπο μεγαφώνου, κατάλληλο για χρήση σαν τούιτερ (tweeter). Λεπτά φύλλα υψηλών πολυμερών έχουν πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες και έτσι αν καμφθούν για να σχηματίσουν ένα κύλινδρο, μπορούν να δώσουν ένα παντο - κατευθυντικό tweeter ή midrange, όπου ο κύλινδρος διαστέλλεται ή συστέλλεται ανάλογα με το σήμα.

μερών τους και ικανότητας χειρισμού συχνοτήτων πολύ πιο υψηλών από τα όρια του ακουστικού φάσματος. Τέλος είναι πολύ πιο γερά από τα ηλεκτρομαγνητικά μεγάφωνα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κυκλώματα διαχωρισμού συχνοτήτων (crossover), πράγμα που θα έκανε να διαλυθεί οποιοδήποτε ηλεκτρομαγνητικό μεγάφωνο υψηλών συχνοτήτων (tweeter).

Πιεζοηλεκτρικά μεγάφωνα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ, αλλά, τώρα τελευταία, οι βελτιώσεις που έγιναν πάνω σ' αυτά (όπως π.χ. από τη Motorola), τείνουν να ανατρέψουν την κατάσταση αυτή.

Μια ακόμα νεότερη εξέλιξη στην ιστορία των πιεζοηλεκτρικών μεγαφώνων είναι η χρησιμοποίηση, από την εταιρία Pioneer της Ιαπωνίας, μεμβράνη από πολυμερές πλαστικό υλικό αντί για κεραμικό κρύσταλλο. Εφ' όσον η επιφάνεια της μεμβράνης συστέλλεται και διαστέλλεται σύμφωνα με την διαμόρφωση του ακουστικού σήματος, η πιο λογική διάταξη της μεμβράνης αυτής είναι μια καμπύλη ή ακόμα και ένας ολόκληρος κύκλος για να σχηματιστεί έτσι ένα σύστημα ακτινοβολίας προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η καινούρια αυτή εφαρμογή μιας παλιάς θεωρίας έγινε η βάση λειτουργίας μιας σειράς μεγαφώνων υψηλών συχνοτήτων (tweeters) της Pioneer, με το όνομα «Jewel». Εδώ ένας κύλινδρος διαμέτρου 76 mm από πολυμερές πλαστικό περιβάλλεται από ένα διαμορφωμένο συγκεντρικό δίσκο, ο οποίος καταλήγει σε μία μορφή χοάνης. Η χρησιμοποίηση των μεγαφώνων αυτών αρχίζει από τους 8500 Hz.

### **2.1.8 ΜΑΓΝΗΤΟΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ**

Βασιζόμενα στην ίδια τεχνολογική αρχή με τα ηλεκτροδυναμικά, αλλά ακολουθώντας αρκετά διαφορετικούς δρόμους στην εφαρμογή της, τα μαγνητοστατικά μεγάφωνα χρησιμοποιούν ένα μεγάλο και επίπεδο πλαστικό διάφραγμα, το οποίο διατρέχεται σε όλη του την επιφάνεια από μεταλλικούς αγωγούς και βρίσκεται στο μέσο δύο παράλληλων επιφανειών με μαγνήτες. Έτσι το χαμηλής μάζας διάφραγμα είναι ταυτόχρονα και πηνίο φωνής (μεταλλικοί αγωγοί), κάτι που μειώνει την αδράνεια και αυξάνει εντυπωσιακά την απόδοση του ηχείου. Τα μαγνητοστατικά ηχεία έχουν καταπληκτική απόδοση και δεν παρουσιάζουν κανένα σχεδόν από τα προβλήματα των ηλεκτροστατικών. Αποτελούν έτσι μια πρόταση που κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος, αν και πρέπει να τονιστεί ότι έχουν πολύ ιδιαίτερο χαρακτήρα και αρκετά αυξημένο κόστος. Μια άλλη κατηγορία

μαγνητοστατικών ηχείων είναι τα ηχεία ταινίας. (ribbon), στα οποία μια μεταλλική λωρίδα αναρτάται ανάμεσα στους αντίθετους πόλους δύο μαγνητών. Τα ribbon είναι πολύ πιο ευαίσθητα και έτσι χρησιμοποιούνται κατά κανόνα για αναπαραγωγή υψηλών συχνοτήτων.

### **2.1.9 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΙΟΝΙΣΜΟΥ**

Σαν τελευταίος στη σειρά θ' αναφερθεί ένας τύπος μεγαφώνου που έχει εμφανιστεί στην αγορά εδώ και σαράντα χρόνια.

Πριν από πολλά χρόνια είχε παρατηρηθεί ότι οι ηλεκτρικοί σπινθήρες κάνανε ένα χαρακτηριστικό θόρυβο («ένα τραγούδι»), που άλλαζε ανάλογα με τη διαφορά δυναμικού που προκαλούσε τους σπινθήρες. Δεδομένου ότι είχε γίνει τότε γνωστό ότι όσο ελαφρότερα ήταν τα κινούμενα μέρη ενός μεγαφώνου, τόσο πιστότερη ήταν η απόδοση του, η ιδιότητα αυτή των ηλεκτρικών σπινθήρων φάνηκε να οδηγεί στο ιδανικό μεγάφωνο, ένα μεγάφωνο δηλαδή, χωρίς καθόλου κινούμενα μέρη, αλλά με τον ίδιο τον αέρα τιθέμενο μόνο του σε παλμική κίνηση. Βέβαια το «τραγούδι» των σπινθήρων είναι πολύ σιγανό και γι' αυτό χρειάζεται χοάνη.

Το μεγάφωνο ιονισμού είναι γαλλική εφεύρεση, το «Ionophone» της Plessey του 1950. Αργότερα κατασκευάστηκε στην Αγγλία από την Fane Acoustics σαν «Ionophone» κατά το 1960.

Στο «Ionophone» αντί για ηλεκτρικούς σπινθήρες, χρησιμοποιούνταν, για τον ιονισμό του αέρα, ένα σήμα ραδιοφωνικής συχνότητας που τροφοδοτούσε ένα κύτταρο γύρω από ένα κύτταρο από χαλαζία (quartz). Το κύτταρο αυτό είχε διπλά τοιχώματα και ο ενδιάμεσος χώρος ήταν κενός από αέρα, για να μη διαφεύγει θερμότητα από το κύτταρο. Στο εσωτερικό του κυττάρου υπήρχε ένα ηλεκτρόδιο από λευκόχρυσο (πλατίνα) που είχε ικανότητες ιονισμού. Το ηλεκτρόδιο υπερθερμαινόταν από το ρεύμα της ραδιοφωνικής συχνότητας και εξέπεμπε ιόντα από την επιφάνεια του. Μεταβάλλοντας την ραδιοφωνική συχνότητα του ρεύματος θέρμανσης του ηλεκτροδίου, σε τρόπο ώστε να συμμορφώνεται με την ακουστική συχνότητα του, προς αναπαραγωγή σήματος, κατά τρόπο που χρησιμοποιούνταν για πολλά χρόνια για τη διαμόρφωση του φέροντος σήματος των ραδιοφωνικών εκπομπών, άλλαζε ανάλογα ο ρυθμός του ιονισμού μέσα στο κύτταρο και αντίστοιχα



άλλαζε και το τραγούδι του. Έτσι είχαμε ένα μεγάφωνο χωρίς καθόλου κινούμενα μέρη, που οι κατασκευαστές του ισχυρίζονταν ότι είχε ιδανική απόδοση.

Γεγονός, όμως, είναι ότι η κατασκευή τέτοιων μεγαφώνων δεν κράτησε πολύ. Ποια ακριβώς ήταν η αιτία που προκάλεσε τη διακοπή της παραγωγής τους δεν είναι γνωστό. Ίσως η πολύπλοκη κατασκευή τους, ίσως η ανάγκη της συχνής αλλαγής του ηλεκτροδίου από πλατίνα, ίσως τα παράσιτα που προκαλούσε στις ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές.

Στην ιστορία των μεγαφώνων ισχύει ότι ισχύει και για όλα τα έμψυχα και άψυχα πράγματα, επιβιώνει πάντοτε ότι είναι καλύτερα προσαρμοσμένο στο περιβάλλον του. Αντίθετα, όμως απ' ότι συμβαίνει με την ιστορία των έμψυχων, μερικά άψυχα που όταν πρωτοεμφανίστηκαν ήταν πιο μπροστά από την εποχή τους και δε μπόρεσαν να επιβιώσουν, ξαναζωντανεύουν όταν η πρόοδος φθάσει σ' αυτά. Έτσι έγινε με τα μεγάφωνα του Blatthaler και με τα πιεζοηλεκτρικά, ίσως λοιπόν και τα μεγάφωνα ιονισμού να ξαναπαρουσιαστούν κάποτε με αξιώσεις επικράτησης.

Ύστερα από την περιγραφή αυτή των διαφόρων τύπων μεγαφώνων, μπορεί κανείς να πει πως κάθε νεότερος τύπος ήταν μία προσπάθεια βελτίωσης των παλαιότερων. Καθ' ένας απ' αυτούς είχε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του και προσαρμοζόταν καλύτερα στη μία ή στην άλλη συγκεκριμένη περίπτωση. Ο βασικότερος, όμως, τύπος έμεινε το μεγάφωνο με κινητό πηνίο, που έχει επικρατήσει τόσο στα συγκροτήματα hi – fi όσο και στις τηλεοράσεις, τα ραδιόφωνα κ. τ. λ. Έτσι με τα σημερινά, τουλάχιστον, δεδομένα ο τύπος αυτός φαίνεται ότι θα επικρατήσει για πολλά ακόμα χρόνια.

Βέβαια οι μελετητές δε θα παύσουν να προσπαθούν να βρουν καλύτερες λύσεις για τα προβλήματα που παρουσιάζει η αναπαραγωγή του ήχου και δεν αποκλείεται να βρεθούμε κάποια μέρα μπροστά σε κάποια έκπληξη.

## **2.2 ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ**

Εκτός από τις βασικές κατηγορίες μεγαφώνων που αναφέραμε, υπάρχουν και κάποιες ιδιαίτερες κατασκευές:

### **2.2.1 ΥΠΟΓΟΥΦΕΡ**

Οι υπερβολικά υψηλές απαιτήσεις που επιβάλλει η φυσική για την αναπαραγωγή των χαμηλών συχνοτήτων έχει οδηγήσει στη λύση της κατασκευής μιας αυτόνομης μονάδας που επιφορτίζεται μόνο με το δύσκολο έργο της απόδοσης των δύο τελευταίων οκτάβων του ακουστού συχνοτικού φάσματος (20 έως 80Hz). Έτσι απελευθερώνονται τα κύρια ηχεία μας από αυτό το βαρύ φορτίο, με συνέπεια να συμπεριφέρονται πιο γραμμικά, να έχουν αυξημένη αποδοτικότητα και να είναι πιο οικονομικά. Οι πολύ χαμηλές συχνότητες εξάλλου δεν είναι κατευθυντικές και μπορούμε να έχουμε μόνο ένα υπογούφερ, το οποίο συνοδεύεται από πλήθος ρυθμιστικών και καταφέρει να έχει αξιοσημείωτη απόδοση χρησιμοποιώντας κώνους σχετικά μικρής διαμέτρου, αφού διαθέτει ενσωματωμένο ενισχυτή (ενεργό) και ελέγχει την κίνηση του κώνου μέσω σερβομηχανισμών και πολλών άλλων κυκλωμάτων. Αν θέλουμε λοιπόν σούπερ μπάσο, οι λύσεις είναι μόνο δύο: ή ένα πολύ μεγάλο κόστους ηχείο ή ένα προσιτό και μικρού όγκου υπογούφερ.

### **2.2.2 ΕΝΕΡΓΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ**

Τα ηχεία είναι κατά βάση παθητικές μονάδες. Τα τελευταία χρόνια και ξεκινώντας από τον επαγγελματικό χώρο του ήχου, έχει αρχίσει να διαδίδεται ολοένα και πιο πολύ η χρήση ενεργών ηχείων, δηλαδή ηχείων που έχουν ενσωματωμένο ενισχυτή, ο οποίος είναι συχνά ξεχωριστός για κάθε δρόμο – μεγάφωνο. Έτσι γίνεται καλύτερο ταίριασμα του ενισχυτή με το μεγάφωνο και αυξάνεται η απόδοση ισχύος, αν και το πιο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι ελέγχεται η κίνηση του μεγαφώνου. Το αποτέλεσμα είναι ότι έχουμε συχνά μονάδες με εντυπωσιακό έλεγχο, έκταση και πιστότητα και μάλιστα χωρίς να υπάρχει η ανάγκη να καταφύγουμε σε πανάκριβα υλικά.

### **2.2.3 ΔΙΠΟΛΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ**

Η πλειονότητα των ηχείων είναι άμεσης εκπομπής (direct radiating), με όλα τα μεγάφωνα να βρίσκονται στην ίδια πλευρά της καμπίνας και να εκπέμπουν προς την ίδια διεύθυνση. Το Home Theater όμως και κυρίως οι προδιαγραφές THX έχουν

φέρει στο προσκήνιο την πρόταση της χρήσης δίπολων ηχείων (dipole) για τα περιφερειακά κανάλια, γιατί αυτά διαχέουν σε μεγαλύτερο βαθμό τα ηχητικά σήματα, δημιουργώντας ένα πιο πλούσιο περιφερειακό πεδίο. Προσομοιώνεται έτσι καλύτερα η ηχητική αίσθηση που έχουμε σε μία κινηματογραφική αίθουσα και η ακρόαση γίνεται πιο ξεκούραστη και ευχάριστη, αν και όχι πάντα και πιο πιστή.

#### **2.2.4 ΜΕΓΑΦΩΝΑ NXT**

Ο καινούριος και πιο ιδιαίτερος τύπος μεγαφώνων είναι τα πασίγνωστα πλέον και τόσο βολικά nxt, που καταφέρνουν να εξαφανίσουν τις πηγές αναπαραγωγής και να μας δώσουν πολλές πρακτικές λύσεις στην τοποθέτηση των ηχείων μας. Υλοποιούνται με μια λεπτή, επίπεδη και ειδικής κατασκευής επιφάνεια, που διεγείρεται μηχανικά από ηλεκτρομαγνήτες ή πιεζοηλεκτρικούς μαγνήτες. Η διέγερση διαδίδεται στην επιφάνεια, η οποία και ακτινοβολεί δευτερογενώς το χώρο. Σε μια μικρή απόσταση από την επιφάνεια του ηχείου, το ηχητικό πεδίο ομαλοποιείται. Η τεχνολογία nxt είναι πολλά υποσχόμενη και ιδανική για περιφερειακά ηχεία σε πολύ μικρούς χώρους. Προς το παρόν όμως δεν ενδείκνυται για όσους έχουν υψηλές απαιτήσεις πιστότητας και ειδικότερα για τα μπροστινά μας ηχεία, παρά μόνο σε περιπτώσεις που έχουμε ένα πολυκάναλο σύστημα πολυμέσων.

### 3. Η ΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Όπως γνωρίζουμε, το ακουστικό φάσμα συχνοτήτων, οι συχνότητες, δηλαδή, που ακούει το ανθρώπινο αυτί, αρχίζει από τα 20 Hz και φθάνει στα 20 KHz. Οι αριθμοί αυτοί είναι μάλλον συμβατικοί. Πολύ λίγοι άνθρωποι φθάνουν στα όρια αυτά και η ευαισθησία της ακοής μας μειώνεται όσο προχωρεί η ηλικία. Σπάνια ένας άνθρωπος κάποιας ηλικίας ακούει ήχους με συχνότητα 18 KHz. Όταν, όμως, βρεθεί μπροστά σ' έναν ισχυρό ήχο 20 KHz τον διαισθάνεται πριν καλά – καλά τον ακούσει το αυτί του.

Στη μουσική, όμως, οι υπέρτονι και οι αρμονικές των κρουστών οργάνων ξεπερνούν το όριο αυτό. Η δε χαμηλότερη νότα που μπορεί να βγάλει το εκκλησιαστικό όργανο είναι 16,35 Hz. Τον ήχο αυτό τον αισθάνεται κανείς περισσότερο με το σώμα παρά με την ακοή. Θα ήταν λοιπόν ενδιαφέρον να έχουμε τη δυνατότητα αναπαραγωγής ήχων των παραπάνω συχνοτήτων.

Για όλα τα άλλα μουσικά όργανα, πλην, δηλαδή, του εκκλησιαστικού οργάνου, το κατώτερο όριο των 30 Hz θα ήταν αρκετό, αλλά και αυτό το όριο είναι δύσκολο να κρατηθεί στην ίδια στάθμη έντασης ήχου, με έναν ήχο συχνότητας 1 KHz.

#### 3.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Για την παραγωγή ενός ήχου χαμηλής συχνότητας σε μια αρκετή στάθμη έντασης, χρειάζεται να τεθεί σε κίνηση ποσότητα αέρα πολύ μεγαλύτερη, απ' ότι χρειάζεται για την ίδια στάθμη έντασης ενός ήχου υψηλότερης συχνότητας. Έτσι το διάφραγμα που θα αναλάβει την αναπαραγωγή του ήχου της χαμηλής συχνότητας, θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο και αρκετά δυνατό για να μπορεί να θέσει σε κίνηση την απαιτούμενη ποσότητα αέρα.

Έτσι βλέπουμε τα μεγάφωνα που προορίζονται για χαμηλές συχνότητες ήχων και για μεγάλη στάθμη έντασης να έχουν μεγάλες διαστάσεις και να απαιτούν ογκώδη κουτιά ηχείων.

Υπάρχει και ένας άλλος παράγοντας που δεν εξετάσαμε ακόμα και ο οποίος επηρεάζει την αναπαραγωγή των χαμηλών συχνοτήτων. Ο παράγοντας αυτός είναι ο «**συντονισμός**» και εξαρτάται από τη μάζα των κινούμενων μερών του μεγαφώνου και από την ελαστικότητα του συστήματος ανάρτησής τους, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου μόνιμου μαγνήτη.

## 3.2 ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ

Το φαινόμενο του συντονισμού έχει μεγάλη σημασία για την απόδοση των μεγαφώνων χαμηλών συχνοτήτων και η κατανόηση του θα διευκολύνει πολύ την κατανόηση της λειτουργίας τους.

Συντονισμός εμφανίζεται όπου υπάρχει μάζα και ελαστικότητα. Ένα στοιχειώδες πείραμα αρκεί για να γίνει αντιληπτή η έννοια του συντονισμού. Ας πάρουμε, το γνωστό, σε όλους μας πείραμα, ελατήριο Hooke. Ας τραβήξουμε προς τα κάτω τη μάζα που αιωρείται και ας την αφήσουμε απότομα. Η μάζα θα πεταχτεί προς τα πάνω, θα φθάσει σε ένα ορισμένο ύψος πιο ψηλά από τη θέση ισορροπίας της, ύστερα θα κατέβει προς τα κάτω, παρακάτω από την παραπάνω θέση και αυτό θα γίνει πολλές φορές ώσπου η μάζα να ισορροπήσει στη θέση ισορροπίας της. Αν μετρήσουμε τις ταλαντώσεις που κάνει η μάζα και τις ανάγουμε σ' ένα δευτερόλεπτο, έχουμε τη συχνότητα ταλάντωσης της μάζας μας. Όσες φορές και αν επαναλάβουμε το απλό αυτό πείραμα με την ίδια μάζα και το ίδιο ελατήριο θα βρούμε την ίδια συχνότητα. Αν αλλάξουμε τη μάζα ή το ελατήριο η συχνότητα θα αλλάξει.

Έτσι καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως κάθε ομάδα μαζών και ελατηρίων έχουνε μια δική τους συχνότητα που πάλλονται, όταν είναι ελεύθερα να διαλέξουν τη δική τους συχνότητά τους. Η φυσική ονομάζει τη συχνότητα αυτή ιδιοσυχνότητα και λέει εξαρτάται μόνο από τη μάζα των κινούμενων μερών και τη σκληρότητα του ελατηρίου που τραβά προς τα πάνω τη μάζα.

Αν δεν υπήρχε η τριβή του αέρα πάνω στη μάζα, καθώς αυτή κινείται και η τριβή μέσα στα μόρια του ελατηρίου, η ταλάντωση θα έπρεπε να μην τελειώσει ποτέ. Η ταλάντωση, δηλαδή, θα ήταν αμείωτη ή χωρίς απόσβεση. Στην πράξη, όμως, ταλαντώσεις χωρίς απόσβεση δεν υπάρχουν και όλες είναι «φθίνουσες» ή «αποσβεννυμένες» ή απλούστερα με απόσβεση.

Ας συνεχίσουμε, όμως, το μικρό μας πείραμα. Ας κρατήσουμε τώρα, το ελατήριο με το χέρι μας. Το κρατάμε ακίνητο για μια στιγμή για να ισορροπήσει η μάζα και μετά το κινούμε πάνω κάτω. Στην αρχή, αργά – αργά, δηλαδή με μικρή συχνότητα, θα δούμε ότι η μάζα ακολουθεί την κίνηση του χεριού μας, χωρίς αυξομείωση του μήκος του ελατηρίου. Όσο αυξάνουμε την ταχύτητα κίνησης του χεριού μας η συχνότητα, δηλαδή το ελατήριο, αρχίζει να τεντώνεται και σε κάποια ταχύτητα της κίνησης μας φθάνει στη μέγιστη διαδρομή της. Αν εξακολουθήσουμε να αυξάνουμε

την ταχύτητα κίνησης του χεριού μας, η κίνηση της μάζας μπερδεύεται και η ταλάντωσή της μειώνεται.

Αν μετρήσουμε τη συχνότητα που είχε η κίνηση του χεριού μας τη στιγμή που η μάζα έκανε τη μέγιστη διαδρομή της, θα δούμε ότι αυτή ήταν ίση με την ιδιοσυχνότητα του συστήματος ελατηρίου – μάζας. Τότε λέμε ότι η κίνηση του χεριού μας και η κίνηση της μάζας έχουνε «συντονιστεί» ή για να το πούμε και πιο τεχνικά: Όταν η κινούσα δύναμη έχει την ίδια συχνότητα με την ιδιοσυχνότητα των κινούμενων μερών, επέρχεται «συντονισμός» και τότε τα κινούμενα μέρη παίρνουν τη μεγαλύτερη δυνατή διακύμανση τους. Θεωρητικά το εύρος της διακύμανσης θα έπρεπε να γίνει άπειρο, αλλά ευτυχώς, όπως είπαμε παραπάνω, υπάρχει η αντίσταση του αέρα και οι τριβές που το περιορίζουν. Πάντοτε, όμως, ο συντονισμός στις τεχνικές κατασκευές, όπως άξονες, γέφυρες κ.τ.λ., είναι επικίνδυνο πράγμα και είναι υπεύθυνος για πολλές καταστροφές.

Κατά τη στιγμή του συντονισμού η μάζα μας, με την ίδια πάντα προσπάθεια του χεριού μας, πήρε το μεγαλύτερο εύρος ταλάντωσης. Φαίνεται δηλαδή ότι η απόδοση της κίνησης του χεριού μας μεγάλωσε κατά έναν συντελεστή «Q» τον οποίο ονομάζουμε συντελεστή ποιότητας.

### 3.3 Ο ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ

Ας έλθουμε τώρα να εξετάσουμε την επίδραση του συντονισμού πάνω στα μεγάφωνα χαμηλών συχνοτήτων.<sup>8</sup> Αν μετρούσαμε την απόδοση ενός τέτοιου μεγαφώνου αρχίζοντας από μια συχνότητα αρκετών εκατοντάδων Hertz και κατεβαίνουμε προς τα κάτω, θα βλέπαμε πως στην αρχή η απόκριση είναι σταθερή, σχήμα 3.1, αλλά όσο οι συχνότητες πλησιάζουν τη συχνότητα συντονισμού, εμφανίζεται μια αύξηση της απόδοσης, η οποία φθάνει στο μέγιστο της ακριβώς στη συχνότητα συντονισμού και ύστερα αρχίζει και πέφτει απότομα.

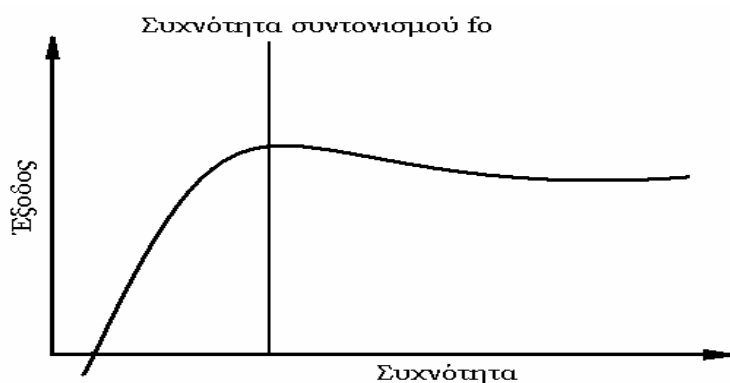
Πάνω από τη συχνότητα συντονισμού, η κίνηση των κινητών μερών του μεγαφώνου ελέγχεται από την αδράνεια των μαζών τους, κάτω όμως από τη συχνότητα αυτή, πρωταρχικό ρόλο στον έλεγχο της κίνησης αυτής παίζει η δυσκαμψία (το αντίθετο της ελαστικότητας) των στηριγμάτων των μερών αυτών. Αν ένα μεγάφωνο έχει συχνότητα συντονισμού, ας πούμε, 100 Hz, πολύ μικρή αύξηση

---

<sup>8</sup> Dave Berriman, *Μεγάφωνα και ηχεία hi-fi, απλή θεωρία και πρακτική*, Εκδόσεις Π. Γαλούτσι σελ.56-62 (1982)

της απόδοσής του μπορούμε να πετύχουμε με την αύξηση της ισχύος του ηλεκτρικού σήματος με το οποίο τροφοδοτούμε το κινητό πηνίο του. Το μόνο που θα πετύχουμε είναι μια παραμόρφωση του ήχου, λόγω του ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του μαγνητικού συστήματος και της αντίδρασης των στηριγμάτων του κώνου.

Αν θα θέλαμε μια καλύτερη απόδοση στις χαμηλές συχνότητες, ο μόνος τρόπος για να το πετύχουμε είναι να κατασκευάσουμε μεγάφωνα με χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: είτε δηλαδή να αυξήσουμε τη μάζα των κινητών μερών, είτε να ελαττώσουμε τη δυσκαμψία (να αυξήσουμε την ελαστικότητα) των στηριγμάτων τους. Δυστυχώς και στους δύο αυτούς τρόπους μείωσης της συχνότητας συντονισμού υπάρχουν όρια. Αν κάνουμε πολύ ελαστικά τα στηρίγματα του κώνου, υπάρχει κίνδυνος να ξεφύγει από τη θέση του και να τρίβεται πάνω στους πόλους του μαγνήτη. Αν αυξήσουμε τη μάζα, αυξάνουμε αντίστοιχα το βάρος των κινητών μερών με κίνδυνο να δημιουργήσουμε το ίδιο πρόβλημα με την αύξηση της ελαστικότητας των στηριγμάτων, επί πλέον δε, μειώνεται και η γενική απόδοση του μεγαφώνου.



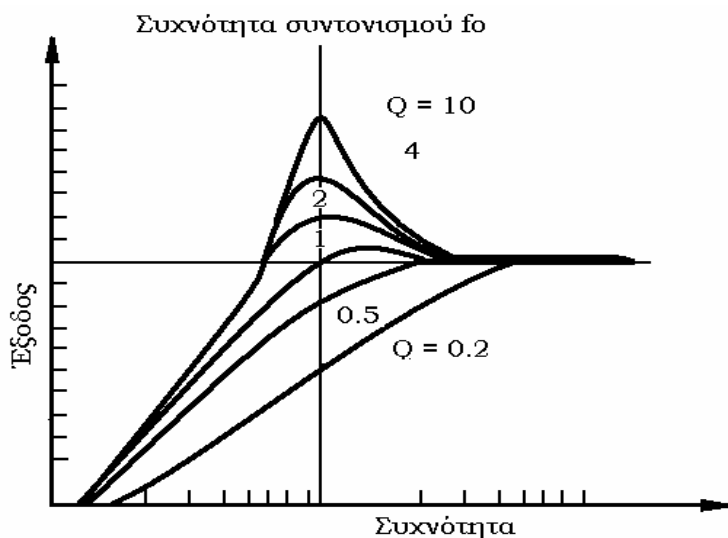
**Σχήμα 3.1**

Η ηχητική στάθμη εξόδοσ είναι θεωρητικά σταθερή ως κάτω κατά το συντονισμό, όπου μπορεί είτε να ανέβει, είτε να πέσει – εδώ υπάρχει μια ελαφρά άνοδος. Η εξόδοσ πάντα πέφτει απότομα πιο κάτω από το συντονισμό.

Έτσι, στην πράξη, αύξηση της απόκρισης ενός μεγαφώνου σε χαμηλότερες συχνότητες, σημαίνει μείωση της απόδοσης του σε στάθμη έντασης ήχου για μια δεδομένη ισχύ ηλεκτρικού σήματος. Ένα μεγάφωνο που αποδίδει πολύ χαμηλές συχνότητες είναι λιγότερο ευαίσθητο και γι' αυτό χρειάζεται μεγαλύτερη ισχύ σήματος από τον ενισχυτή του. Μεγαλύτερη όμως ισχύ σημαίνει μεγαλύτερη θέρμανση του κινητού πηνίου και υπάρχει κάποιο όριο θέρμανσης που μπορεί να ανεχθεί, χωρίς κίνδυνο, το μεγάφωνο. Πρέπει λοιπόν ο κατασκευαστής να διαλέξει τον καλύτερο συμβιβασμό ανάμεσα στους αντικρουόμενους αυτούς παράγοντες.

Πριν κλείσουμε την παράγραφο του συντονισμού, θα πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι η απόδοση του μεγαφώνου στις χαμηλές συχνότητες και η πιστή αναπαραγωγή

του ήχου εξαρτάται από το συντελεστή ποιότητας  $Q$  στη συχνότητα συντονισμού.



**Σχήμα 3.2**

Πως ο συντελεστής ποιότητας  $Q$  επηρεάζει την απόκριση συχνότητας ενός μεγαφώνου. Όσο μεγαλύτερος γίνεται ο  $Q$ , τόσο μεγαλώνει η κορυφή της απόκρισης και τόσο μεγαλύτερη γίνεται η υπερδιαφυγή και ο κωδωνισμός στα μεταβατικά.

Το ιδανικό θα ήταν να μην είχαμε καμία επαύξηση της απόδοσης στο σημείο αυτό, δηλαδή να είχαμε  $Q = 1$ , που σημαίνει ότι στη συχνότητα συντονισμού δεν έχουμε καμία επαύξηση της απόκρισης, αλλά μια μικρή επαύξηση σε συχνότητες λίγο μεγαλύτερες απ' αυτήν. Ένας συντελεστής ποιότητας  $Q = 0.7$  θεωρητικά δεν προκαλεί καμία αύξηση της απόκρισης, αλλά μια μείωση της κατά 3dB στη συχνότητα συντονισμού. Ο συντελεστής  $Q = 0.7$  αντιστοιχεί σε κρίσιμη απόσβεση της ταλάντωσης, πράγμα που σημαίνει ότι τα παλλόμενα μέρη επανέρχονται στη θέση ισορροπίας τους σε μισή περίοδο από τη στιγμή που θα παύσει να δρα η δύναμη που τα κινεί. Για να γίνει πιο αντιληπτό αυτό, ας επανέλθουμε στο πείραμα με το ελατήριο Hooke. Αν η μάζα κινείται μέσα σ' ένα υγρό, η απόσβεση της ταλάντωσης της αυξάνει (μειώνεται δηλαδή ο αριθμός των ταλαντώσεων που κάνει μέχρι να σταματήσει), όσο αυξάνει η πυκνότητα του υγρού. Σε κάποιο όριο πυκνότητας η μάζα επανέρχεται στη θέση ισορροπίας της, χωρίς να ξεπεράσει το σημείο αυτό, λέμε τότε ότι η απόσβεση που ασκεί το υγρό πάνω στην ταλάντωση έφθασε στο κρίσιμο σημείο της. Αν το υγρό γίνει πιο πυκνό, επιβραδύνεται πολύ η επιστροφή της μάζας στη θέση ισορροπίας της. Τότε λέμε ότι υπάρχει υπεραπόσβεση (overdamping).

Στα μεγάφωνα, η απόσβεση εξαρτάται από πολλές και πολύπλοκες συνθήκες, όπως η ισχύς του μαγνητικού πεδίου του μόνιμου μαγνήτη, η αντίσταση του πηνίου, το μήκος του πηνίου και το μέγεθος και ο τύπος του ηχείου, όταν βέβαια υπάρχει. Πολλές φορές οι κατασκευαστές ξεπερνάνε λίγο την τιμή 1 για το συντελεστή



μεγέθυνσης  $Q$ , για να κάνουν τα μεγάφωνα τους πιο αποδοτικά στις χαμηλές συχνότητες. Βέβαια αυτό μειώνει λίγο την πιστή αναπαραγωγή, αλλά αυτό εξουδετερώνεται από την αίσθηση της καλύτερης απόδοσης των χαμηλών συχνοτήτων και από κάποια αντήχηση.

Αν η αύξηση του συντελεστή  $Q$  είναι λιγάκι μεγαλύτερη, δημιουργείται μια αίσθηση κακής απόσβεσης (κρεμάσματος) και τονισμού μιας συγκεκριμένης συχνότητας (νότας) που είναι χαρακτηριστικό των μεγαφώνων κακής ποιότητας. Οι περισσότεροι κατασκευαστές προτιμούν συντελεστή  $Q = 0.7$  ή και μικρότερο για να αποφύγουν τα παραπάνω μειονεκτήματα.

Απ' όλα αυτά φαίνεται πόσο είναι δύσκολο για έναν ερασιτέχνη να φτιάξει ένα καλό ηχείο.... Ακόμα και οι μεγάλοι κατασκευαστές βρίσκονται πολλές φορές σε αμηχανία!

## **4. ΕΙΔΙΚΑ ΜΕΓΑΦΩΝΑ**

Όπως είπαμε στα προηγούμενα, η μετάδοση ενέργειας από το διάφραγμα στον περιβάλλοντα αέρα βελτιώνεται μέχρι μια ορισμένη συχνότητα και αυτό εξουδετερώνει τη ζημιά που κάνει η αύξηση της αδράνειας της μάζας του διαφράγματος. Η συχνότητα στην οποία η βελτίωση αυτής της μεταβίβασης της ενέργειας σταματά, μπορεί να αυξηθεί με τη μείωση της επιφάνειας του διαφράγματος. Το μέγεθος, όμως, του διαφράγματος δεν μπορεί να μειωθεί πολύ, αν θέλουμε να είναι ικανό να αναπαράγει με αρκετή ένταση, ήχους χαμηλών συχνοτήτων. Έτσι παρουσιάζεται αμέσως το ζήτημα αν είναι δυνατόν να καλυφθεί με ένα μεγάφωνο ολόκληρο το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων και έγινε από νωρίς φανερό ότι για να φθάσει η απόδοση ενός ηχείου στις πολύ υψηλές συχνότητες, χρειάζεται ένα πρόσθετο μεγάφωνο που να ανταποκρίνεται καλύτερα στις υψηλές συχνότητες. Έτσι γεννήθηκαν τα μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων, που αναφέρονται διεθνώς σαν τούιτερ (tweeter).

### **4.1 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (TWEETERS)**

Όπως είπαμε παραπάνω, ένα διάφραγμα μικρής διαμέτρου ανταποκρίνεται καλύτερα στις υψηλές συχνότητες. Η μικρή διάμετρος σημαίνει επίσης, κατά τεκμήριο τουλάχιστον και μικρότερη μάζα, μικρότερη αδράνεια, ταχύτερη επιτάχυνση και επιβράδυνση και όλα αυτά μαζί δίνουν καλύτερη απόκριση στις απότομες μεταβολές των αναπαραγόμενων ήχων.

Σήμερα ο πιο διαδεδομένος τύπος μεγαφώνου υψηλών συχνοτήτων είναι το μεγάφωνο με κινητό πηνίο. Εδώ, όμως, ο κώνος έχει καταργηθεί τελείως και έχει αντικαταθεί με ένα ελαφρή διάφραγμα που έχει το σχήμα ενός τμήματος σφαίρας (θόλου - dome) για να είναι πιο δύσκαμπτο. Το διάφραγμα αυτό είναι κατασκευασμένο από πανί, εμβαπτισμένο σε ειδικές χημικές ουσίες για να μην κάνει αυτά τα «σπασίματα» (break - up) του ήχου ή από σκληρό φύλλο λεπτού πλαστικού με ειδική επάλειψη για βελτίωση των ικανοτήτων απόσβεσής του.

Το διάφραγμα είναι άμεσα συνδεδεμένο με το πηνίο που τροφοδοτείται με το ηλεκτρικό σήμα. Το πηνίο, συνήθως, διαμορφώνεται πάνω σ' αυτό το ίδιο διάφραγμα.

Οι διαστάσεις του διαφράγματος είναι αρκετά μικρές, όχι βέβαια τόσο ώστε να δημιουργούν παραμορφώσεις στις χαμηλές συχνότητες.

Τα μεγάφωνα υψηλής συχνότητας έχουν και αυτά τη συχνότητα συντονισμού τους, που συνήθως βρίσκεται γύρω στους 1000 Hz και φυσικά πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους κοντά στη συχνότητα συντονισμού τους.

Στην πράξη, μεγάφωνα υψηλής συχνότητας χρησιμοποιούνται σε συχνότητες από 3,5 KHz και άνω σε συνδυασμό με μεγάφωνα χαμηλής και μεσαίας συχνότητας τα οποία φθάνουν μέχρι το παραπάνω όριο.

Τα μεγάφωνα υψηλής συχνότητας τύπου θόλου παρουσιάζουν και αυτά προβλήματα παραμόρφωσης του σχήματος τους, ιδίως σε συχνότητες άνω των 8 KHz και γι' αυτό χρειάζεται πολύ προσεκτική μελέτη της κατασκευής τους για να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά. Οπωσδήποτε, όμως, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα απέναντι στα μεγάφωνα με κώνους, όπως είναι συνήθως τα φθηνά μεγάφωνα, τα οποία δημιουργούν μια πολύ στενή διασπορά του ήχου και γενικά μία όχι τόσο ομοιόμορφη απόκριση.

Στα προηγούμενα αναφέραμε ειδικούς τύπους μεγαφώνων που προσαρμόζονται καλά στις υψηλές συχνότητες, όπως π. χ. τα ηλεκτροστατικά ή με ταινία, με ή χωρίς χοάνη. Οι τύποι αυτοί έχουν το πλεονέκτημα ότι δημιουργούν μια αυξημένη αντίσταση του αέρα μπροστά στο διάφραγμα, με αποτέλεσμα να βελτιώνουν την απόδοση τους. Για παράδειγμα μπορούμε ν' αναφέρουμε ότι σ' ένα καλά μελετημένο ηλεκτροστατικό μεγάφωνο η απόκριση του στις διαμορφώσεις του σήματος φθάνει μέχρι τους 24 KHz.

## **4.2 ΜΕΓΑΦΩΝΑ ΜΕΣΑΙΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (MIDRANGE)**

Στην κατηγορία των μεγαφώνων μεσαίων συχνοτήτων χρησιμοποιούνται μεγάφωνα κινητού πηνίου (ηλεκτροδυναμικά μεγάφωνα) είτε με κωνικό είτε με θολωτό διάφραγμα.

Ένα τυπικό μεγάφωνο μεσαίων συχνοτήτων με κωνικό διάφραγμα θα πρέπει να έχει συχνότητα συντονισμού γύρω από τα 200 Hz και θα πρέπει να έχει καλή απόκριση μέχρι 5 KHz. Τέτοια μεγάφωνα χρησιμοποιούνται για να καλύψουν το κενό μεταξύ 500 Hz και 3,5 KHz, που αφήνουν τα μεγάφωνα υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων.

Μεγάφωνα με θόλο έχουν χρησιμοποιηθεί για μεσαίες συχνότητες, αλλά παρουσιάζουν μερικές δυσκολίες. Από τη μία μεριά μεγαλώνοντας το θόλο είναι δύσκολο να διατηρηθεί η ευαισθησία του, από την άλλη μεριά, επειδή εδώ υπάρχει ένα μόνο στήριγμα για το διάφραγμα, είναι δύσκολο να κρατηθεί ακριβώς στη θέση του όταν μεγαλώσει το εύρος των παλμικών του κινήσεων και αρχίσει να ταλαντεύεται πλευρικά. Επίσης η συχνότητα συντονισμού του είναι αρκετά υψηλότερη από του κωνικού διαφράγματος και έτσι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τόσο χαμηλές συχνότητες. Βέβαια υπάρχει πάντα η καλύτερη απόκριση του σε μεταβατικούς ήχους και ο μικρότερος χρωματισμός, αλλά επειδή το κόστος παραγωγής ενός καλού μεγαφώνου με θολωτό διάφραγμα είναι αρκετά υψηλότερο από το κωνικό, σπάνια χρησιμοποιούνται τέτοια μεγάφωνα για τις μεσαίες συχνότητες. Απ' όλους τους μεγάλους κατασκευαστές ηχείων, μόνο η Ιαπωνική Yamaha επιμένει να χρησιμοποιεί τέτοια μεγάφωνα, όπως στα ηχεία Ns 1000 και Ns 1000 M, όπου χρησιμοποιείται ένας θόλος από βυρήλλιο.

Μολονότι μερικά από τα πολύ καλά ηχεία έχουν τρία ή περισσότερα μεγάφωνα, δε σημαίνει ότι γενικά τρία μεγάφωνα είναι καλύτερα από τα δύο. Συνήθως συμβαίνει το αντίθετο, ανάλογα βέβαια με την ποιότητα του υλικού και την ικανότητα του κατασκευαστή.

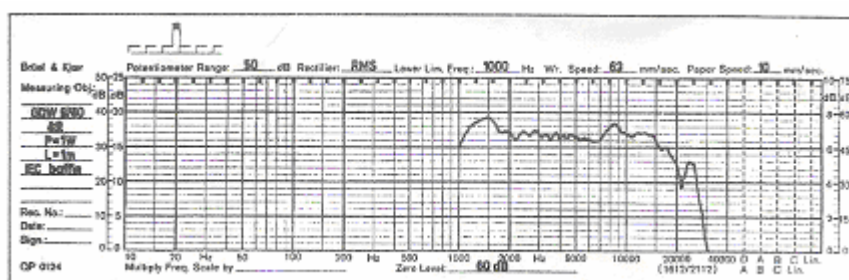
## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΓΑΦΩΝΩΝ

Τα μεγάφωνα που επιλέχθηκαν για το συγκεκριμένο πείραμα, είναι μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων, τα λεγόμενα tweeters. Η επιλογή των συγκεκριμένων μεγαφώνων δεν ήταν τυχαία, επιλέχθηκαν διότι έχουν ένα ευρύ συχνοτικό φάσμα (1KHz – 30KHz). Ποιο συγκεκριμένα στις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τρία tweeters της ίδιας εταιρίας (Tonsil), το ίδιο μοντέλο (Cone Tweeter Loudspeaker GDW 9/60 Catalogue number 9 5155 076 04) και με ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των tweeters παρουσιάζονται παρακάτω:

### Technical Data

Nominal impedance	8	Ohm
Voice coil resistance	6,7	Ohm
Input power / Max. power	60/90	Watt
Frequency range	3000-20000	Hz
Sensitivity 1W/1m:	94	dB
Resonance frequency	1500	Hz
Voice coil diameter	13	mm
Voice coil height	1,8	mm
Voice coil former material	nomex	
Membrane material	paper	
Flux density	1,0	T
Energy in air gap	29,8	mJ
Magnet material	Ferrite	
Recommended crossover freq.	3000	Hz

### Frequency Response Curve



Σχήμα 5.1

### Mounting Data

Magnet dimensions	45/22/8	mm
Magnet mass	48	g
Mass of loudspeaker	180	g
Overall diameter	92	mm
Bolt circle diameter	80	mm
Baffle cutout diameter	68	mm
Depth	29,5	mm

## Mounting Holes in Enclosure



Σχήμα 5.2

Σκοπός είναι να εξεταστεί, το πως συμπεριφέρονται τα μεγάφωνα υψηλών συχνοτήτων στο ακουστικό φάσμα και εν συνεχεία η σύγκριση των μεγαφώνων μεταξύ τους. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των μεγαφώνων είναι οπτική και ονομάζεται ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry – ESPI).

### 5.1. ΟΠΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Οι οπτικές τεχνικές εφαρμόζονται στην μη-καταστρεπτική ανάλυση αντικειμένων για δυο βασικούς λόγους:

α) τα οπτικά κύματα έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν από τα αντικείμενα τις απαιτούμενες κατά περίπτωση πληροφορίες δίχως να υφίστανται μεταβολές στην κατάσταση των αντικειμένων

β) οι πληροφορίες που μεταδίδονται από τα αντικείμενα δια μέσου των οπτικών κυμάτων καταλαμβάνουν μικρή χωρική κλίμακα λόγω του πολύ μικρού μήκους κύματος του φωτός.

Η οπτική τεχνική που χρησιμοποιήθηκε εν προκειμένω είναι η ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry - ESPI ). Η τεχνική αυτή αποτελεί εξέλιξη της ολογραφικής συμβολομετρίας. Για την καλύτερη κατανόηση και παρουσίαση της τεχνικής ESPI, εξηγείται πρώτα η αρχή της ολογραφίας και εν συνεχεία η αρχή της ολογραφικής συμβολομετρίας.

### 5.1.1. ΟΛΟΓΡΑΦΙΑ

Η τεχνική που παρέχει τη δυνατότητα λήψης φωτογραφιών τριών διαστάσεων καλείται ολογραφία. Ο όρος ετυμολογικά προέρχεται από το επίθετο «όλος» και το ουσιαστικό «γραφή» και επινοήθηκε από τον Dennis Gabor, το 1948<sup>9</sup>. Παρόλο που οι αρχικές προδιαγραφές της ολογραφίας ήταν οι εφαρμογές της στα ηλεκτρονικά μικροσκόπια, η εποχή του laser έφερε στο προσκήνιο κάποιες άλλες αξιοσημάντες λειτουργικές της δυνατότητες.

Η τεχνική της ολογραφίας επιτρέπει την καταγραφή τόσο της φωτεινής έντασης όσο και της φάσης του αντικειμένου που τοποθετούμε προς φωτογράφιση και έχει ως βασικό στόχο την πιστή αναπαραγωγή – ολογράφιση του αρχικού αντικειμένου. Μέχρι πρότινος οι φωτογραφίες συνιστούσαν απλές χαρτογραφήσεις της φωτεινής έντασης των αντικειμένων δίχως να καταγράφονται οι βασικότερες πληροφορίες του πλάτους και της φάσης του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου. Τούτη όμως η τεχνική λύνει αυτό το πρόβλημα επιτρέποντας τη φωτογράφιση του αντικειμένου προς αναπαραγωγή σε τρεις διαστάσεις δηλαδή, προσομοιώνοντας το αντικείμενο με τέτοιο τρόπο, ώστε να φαίνεται ίδιο με το αρχικό, σαν να ήταν το αντικείμενο ενώπιον μας και να παρήγαγε το ίδιο ηλεκτρικό πεδίο.

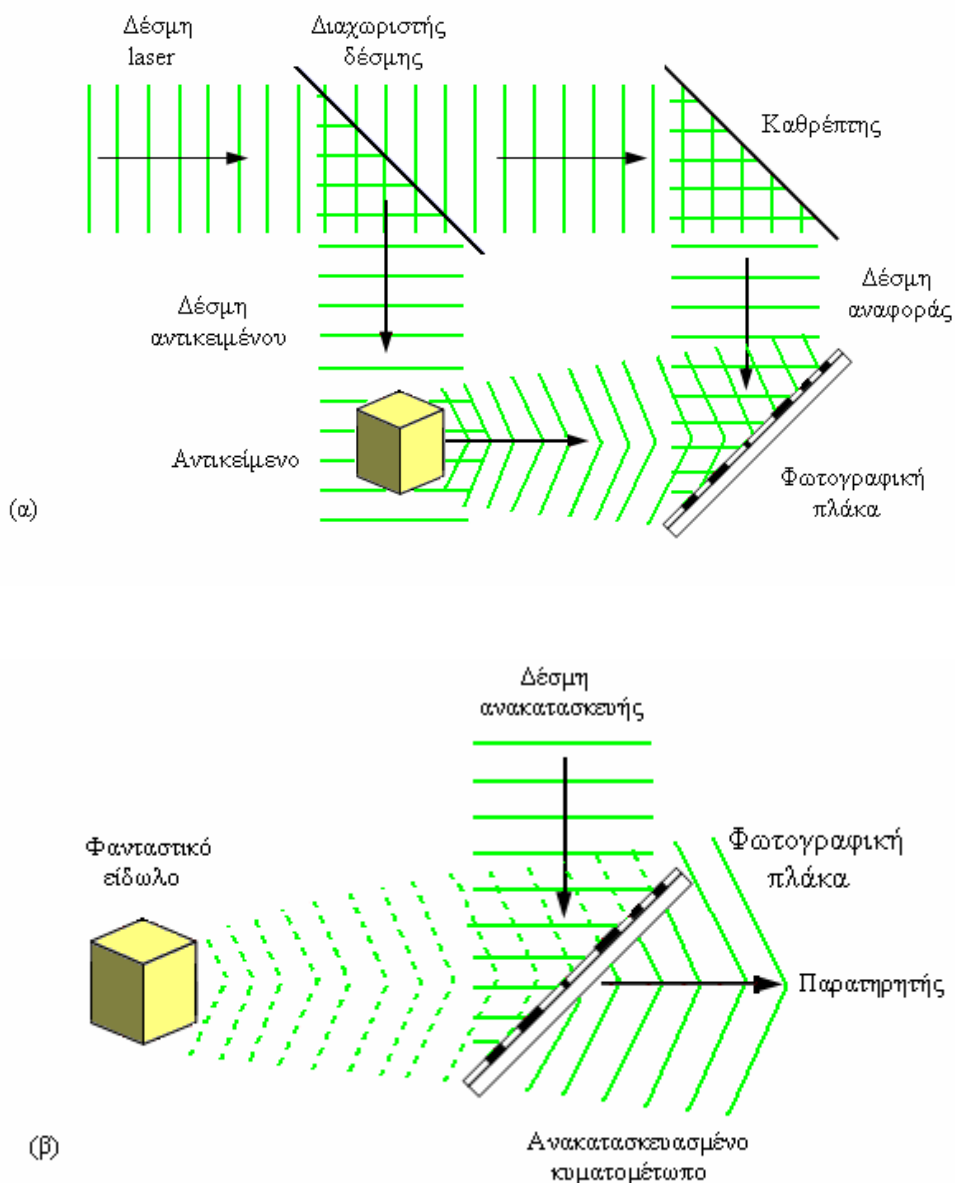
Στο πεδίο της πράξης η τεχνική της ολογραφίας λειτουργεί σύμφωνα με τον ακόλουθο τρόπο. Μια δέσμη σύμφωνης ακτινοβολίας (laser) χωρίζεται σε δυο μέρη μέσω ενός διαχωριστή δέσμης. Το ένα μέρος (δέσμη αναφοράς) οδηγείται απ' ευθείας πάνω στο καταγραφικό (π.χ. μια φωτογραφική πλάκα), ενώ το άλλο μέρος (δέσμη αντικειμένου) φωτίζει το αντικείμενο που είναι προς ολογράφιση (σχήμα 5.3.α). Το σκεδαζόμενο από το αντικείμενο φως προσπίπτει επάνω στην φωτογραφική πλάκα και οι δυο δέσμες δημιουργούν ένα διάγραμμα συμβολής που αποτελείται από κροσσούς συμβολής. Οι κροσσοί ακολούθως περιέχουν ένα πλήρες «αρχείο» του αρχικού αντικειμένου που αντιστοιχεί στις διαφορές φάσης της δέσμης του αντικειμένου με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η πλήρης καταγραφή των πληροφοριών που φέρει.

Η τρισδιάστατη όψη του αντικειμένου είναι ουσιαστικά το αποτέλεσμα της ανακατασκευής του αρχικού αντικειμένου. Όταν η φωτογραφική πλάκα φωτιστεί με μια δέσμη ανακατασκευής πανομοιότυπη με τη δέσμη αναφοράς, τότε το αρχικό αντικείμενο ανακατασκευάζεται πλήρως και ως προς την ένταση και ως προς τη φάση

---

<sup>9</sup> D. Gabor, *A new microscopic principle*, Nature **161**, pp. 777 – 778 (1948)

εξαιτίας της περίθλασης της δέσμης ανακατασκευής από το καταγεγραμμένο στην φωτογραφική πλάκα διάγραμμα συμβολής. Τούτο φυσικά συμβαίνει στις περιπτώσεις εκείνες όπου η φωτογραφική πλάκα βρίσκεται στη θέση που καταλάμβανε αρχικά ενώ το αντικείμενο που τίθεται προς ολογράφηση αλλάζει θέση (σχήμα 5.3.β). Σε αυτές τις περιπτώσεις και με την απαραίτητη προϋπόθεση αλλαγής του σημείου παρατήρησης, ο παρατηρητής βλέπει το αντικείμενο να περιστρέφεται μπροστά του σαν να ήταν ακόμη εκεί.

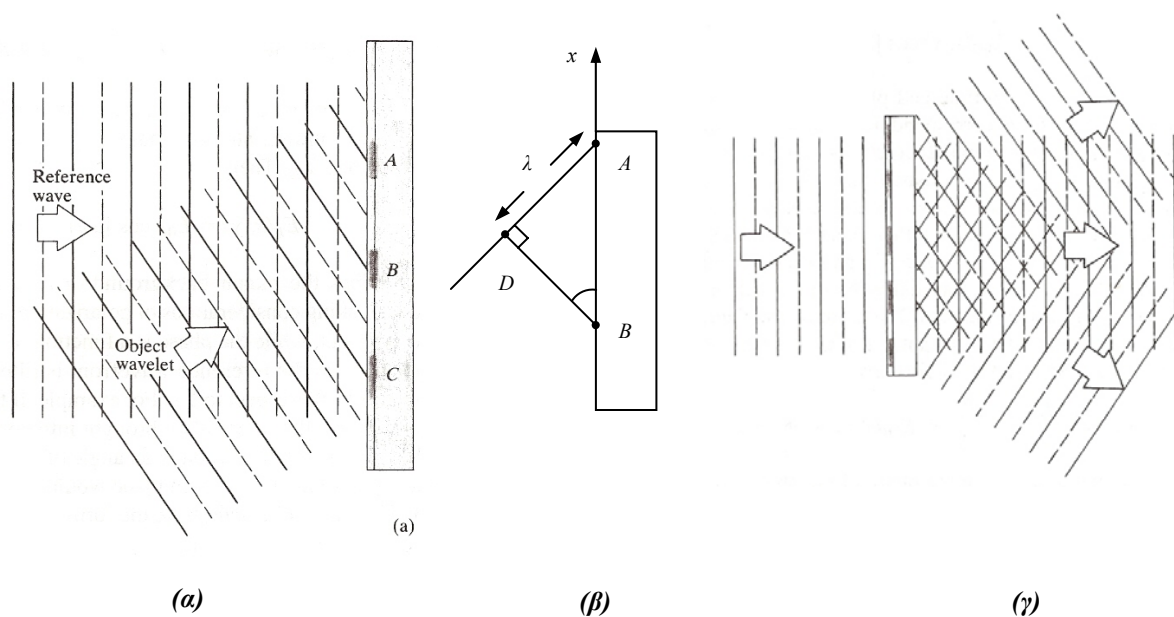


Σχήμα 5.3

Τυπική διάταξη ολογραφίας για (α) καταγραφή, και (β) ανακατασκευή



Με μαθηματικούς όρους και σύμφωνα με την απλή εκδοχή συμβολής δύο κυμάτων (σχήμα 5.4), η ολογραφία μπορεί να αναλυθεί κατά τον ακόλουθο τρόπο: Τη δεδομένη χρονική στιγμή που απεικονίζεται στο σχήμα 5.4.α, η δέσμη αναφοράς (reference wave) έχει κορυφή κατά μήκος του επιπέδου της προσόψεως της φωτογραφικής πλάκας, ενώ το σκεδασμένο από το αντικείμενο φως (object wavelet), που προσπίπτει υπό γωνία  $\theta$  στην φωτογραφική πλάκα, έχει κορυφές στα σημεία  $A$ ,  $B$  και  $C$ . Σε αυτά ακριβώς τα σημεία τη δεδομένη στιγμή αντιστοιχούν τα μέγιστα συμβολής.



Σχήμα 5.4

(α) Συμβολή δύο κυμάτων, (β) σχέση φάσης και μετατόπισης, και (γ) ανακατασκευή αντικειμένου

Καθώς όμως τα κύματα κατευθύνονται προς τα δεξιά - ακολουθώντας την άνω σχηματική αναπαράσταση - παρατηρούμε ότι εξακολουθούν να παραμένουν σε φάση σε αυτά τα σημεία, οι κοιλίες του ενός επικαλύπτονται με τις κοιλίες του άλλου και τα μέγιστα παραμένουν στα ίδια σημεία  $A$ ,  $B$  και  $C$ . Κατά τον ίδιο τρόπο και μεταξύ των σημείων παρακολουθούμε ότι η κοιλία του ενός επικαλύπτεται με την κορυφή του άλλου, με αποτέλεσμα την εμφάνιση των ελάχιστων συμβολής. Η σχετική φάση  $\varphi$  των δύο κυμάτων, η οποία υφίσταται μεταβολές από σημείο σε σημείο πάνω στη φωτογραφική πλάκα γράφεται ως συνάρτηση του  $x$  (σχήμα 5.4.β). Η φάση  $\varphi$  αλλάζει κατά  $2\pi$  καθώς το  $x$  αλλάζει κατά  $\overline{AB}$ , οπότε  $\varphi/2\pi = x/\overline{AB}$ . Επειδή  $\sin\theta = \lambda / \overline{AB}$ , η φάση γράφεται:

$$\varphi(x) = (2\pi x \sin \theta) / \lambda \quad (5.1)$$

Θεωρώντας ότι τα δύο κύματα έχουν το ίδιο πλάτος  $E_0$  το ηλεκτρικό πεδίο συμβολής είναι:

$$E = 2E_0 \cos \frac{1}{2} \varphi \sin(\omega t - kx - \frac{1}{2} \varphi) \quad (5.2)$$

και η κατανομή της έντασης, η οποία είναι ανάλογη του τετραγώνου του ηλεκτρικού πεδίου, έχει την ακόλουθη μορφή:

$$I(x) = 2c\varepsilon_0 E_0^2 + 2c\varepsilon_0 E_0^2 \cos \varphi \quad (5.3)$$

Συνεπώς, υπάρχει μια συνημιτονοειδής κατανομή της έντασης κατά μήκος του επιπέδου της φωτογραφικής πλάκας. Κατά την εμφάνιση δηλαδή της φωτογραφικής πλάκας το αποτέλεσμα είναι, ένα συνημιτονοειδές φράγμα περίθλασης. Όταν αυτό το απλό ολόγραμμα φωτίζεται με ένα επίπεδο κύμα πανομοιότυπο με τη δέσμη αναφοράς δημιουργούνται τρεις δέσμες (σχήμα 5.4.γ): μια δέσμη μηδενικής τάξης και δύο δέσμες πρώτης τάξης. Η μια από τις δέσμες πρώτης τάξης είναι εκείνη που ταξιδεύει στην κατεύθυνση του αρχικού αντικειμένου και αντιστοιχεί στο ανακατασκευασμένο αντικείμενο.

Απαραίτητες συνθήκες για την εφαρμογή μιας επιτυχούς ολογραφίας είναι:

(α) Οι θέσεις του αντικειμένου, της πλάκας και της δέσμης laser δεν πρέπει να αλλάξουν καθ' όλη τη διάρκεια έκθεσης της πλάκας. Αλλαγή των θέσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε λιγότερο από το μισό μήκος κύματος του laser προκειμένου να αποφευχθεί ενδεχόμενη αμαύρωση της συμβολής. Ως εκ τούτου, το αντικείμενο, η φωτογραφική πλάκα και το laser πρέπει να είναι κατάλληλα τοποθετημένα σε μέρος σταθερό εντελώς απαλλαγμένο από δονήσεις.

(β) Η διακριτική ικανότητα της φωτογραφικής πλάκας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να μπορεί να καταγράφει τους κροσσούς συμβολής.

(γ) Το μήκος συμφωνίας (coherence length) της δέσμης laser πρέπει να είναι επαρκές, ώστε να σχηματισθούν οι κροσσοί συμβολής στην πλάκα.

### 5.1.1.1. ΜΗΚΟΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑΣ

Το μήκος συμφωνίας μπορεί να οριστεί εάν για κάθε ηλεκτρομαγνητικό (H/M) κύμα εισαγάγουμε τις έννοιες της χωρικής και χρονικής συμφωνίας. Για τον ορισμό της χωρικής συμφωνίας, ας θεωρήσουμε δύο σημεία  $P_1$  και  $P_2$  τα οποία, για χρόνο

$t = 0$ , βρίσκονται πάνω στο ίδιο κυματομέτωπο και έστω ότι τα αντίστοιχα ηλεκτρικά πεδία για τα σημεία αυτά είναι  $E_1(t)$  και  $E_2(t)$ . Εξ ορισμού, η διαφορά μεταξύ των φάσεων των δύο πεδίων στο χρόνο  $t = 0$ , είναι μηδέν. Εάν αυτή η διαφορά παραμείνει μηδέν για κάθε χρονική στιγμή  $t > 0$ , τότε λέμε ότι υπάρχει τέλεια συμφωνία μεταξύ των δύο σημείων. Εάν αυτό συμβεί για κάθε δύο σημεία του H/M κυματομετώπου, τότε λέμε ότι το κύμα έχει *ιδανική χωρική συμφωνία*. Στην πράξη, για κάθε σημείο  $\Pi_1$ , το σημείο  $\Pi_2$  πρέπει να βρίσκεται μέσα σε μια πεπερασμένη γύρω από το  $\Pi_1$  περιοχή, εάν θέλουμε να έχουμε καλό φασικό συσχετισμό. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι το κύμα έχει *μερική χωρική συμφωνία* και, για κάθε σημείο  $\Pi$ , μπορούμε να εισαγάγουμε μια κατάλληλα ορισμένη περιοχή συμφωνίας  $S_c(\Pi)$ . Συνεπώς, το μήκος συμφωνίας είναι η απόσταση διάδοσης του κύματος μέσα στην οποία το κύμα διατηρεί έναν ορισμένο βαθμό συμφωνίας.

Για να ορίσουμε τώρα την χρονική συμφωνία ας θεωρήσουμε το ηλεκτρικό πεδίο του H/M κύματος σε δεδομένο σημείο  $\Pi$  για χρόνους  $t$  και  $t + \tau$ . Εάν, για δεδομένη χρονική υστέρηση  $\tau$ , η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο τιμών του πεδίου παραμένει η ίδια για κάθε χρονική στιγμή  $t$ , τότε λέμε ότι υπάρχει χρονική συμφωνία για ένα χρονικό διάστημα  $\tau$ . Εάν αυτό συμβεί για κάθε τιμή του  $\tau$ , τότε λέμε ότι το H/M κύμα έχει *τέλεια χρονική συμφωνία*. Εάν αυτό συμβεί για κάθε χρονική υστέρηση  $\tau$ , τέτοια ώστε  $0 < \tau < \tau_0$ , τότε λέμε ότι το κύμα έχει *μερική χρονική συμφωνία*, με χρόνο συμφωνίας ίσο με  $\tau_0$ . Η έννοια της χρονικής συμφωνίας συνδέεται άμεσα με την μονοχρωματικότητα της πηγής laser. Συγκεκριμένα, ένα H/M κύμα με χρόνο συμφωνίας  $\tau_0$  έχει εύρος ζώνης  $\Delta\nu \cong 1/\tau_0$ .

Το μήκος συμφωνίας είναι μια έννοια καθοριστικής σημασίας για το φαινόμενο της συμβολής, διότι μπορούμε να έχουμε συμβολή μόνο μέσα στο μήκος συμφωνίας της πηγής και όχι πέρα από αυτό. Συνήθως το μήκος συμφωνίας ορίζεται ως η διαφορά δρόμου μιας δέσμης laser που συμβάλλει με τον εαυτό της (π.χ. σε ένα συμβολόμετρο Michelson), η οποία αντιστοιχεί σε μείωση της ορατότητας των κροσσών συμβολής (fringe visibility) κατά 50%, όπου η ορατότητα των κροσσών,  $V$ , ορίζεται ως:

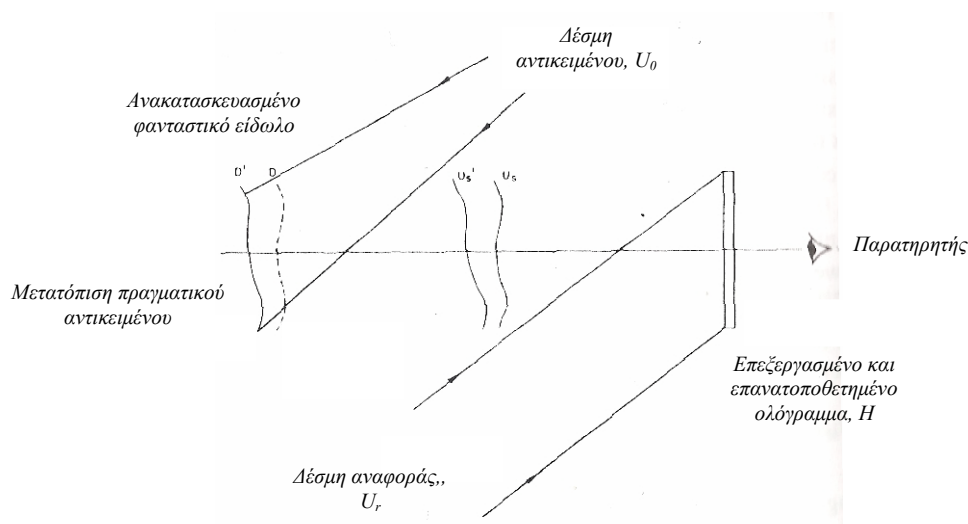
$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (5.4)$$

όπου  $I_{\max}$  και  $I_{\min}$ , η μέγιστη και η ελάχιστη ένταση των κροσσών αντίστοιχα.

## 5.1.2. ΟΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΥΜΒΟΛΟΜΕΤΡΙΑ

Η εφαρμογή της ολογραφίας δημιούργησε τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη κάποιων σημαντικών τεχνικών, όσον αφορά τη μελέτη των αλλαγών στην επιφάνεια των αντικειμένων. Από τις πιο σημαντικές τεχνικές είναι η ολογραφική συμβολομετρία. Η τεχνική αυτή καθιστά επιτυχή την συμβολομετρική ανάλυση των στατικών και δυναμικών αλλαγών μιας οπτικά ανώμαλης επιφάνειας. Αυτό σημαίνει ότι αίρεται η βασική αδυναμία της κλασσικής συμβολομετρίας σύμφωνα με την οποία η υπό μελέτη επιφάνεια πρέπει να είναι οπτικά ομαλή.

Ας δούμε ποιοτικά πως η ολογραφική καταγραφή μιας σκεδάζουσας επιφάνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της κίνησής της, με τη βοήθεια του σχήματος 6.5, όπου απεικονίζεται διαγραμματικά η λεγόμενη τεχνική ολογραφικής συμβολομετρίας απλής έκθεσης (ή πραγματικού χρόνου).



Σχήμα 5.5

Σχηματική απεικόνιση διάταξης ολογραφικής συμβολομετρίας απλής έκθεσης

Το επεξεργασμένο ολόγραμμα, σύμφωνα με τις προηγούμενες αναφορές, επιτρέπει την ανακατασκευή ενός φανταστικού ειδώλου του αρχικού αντικειμένου. Αν το αντικείμενο υποστεί μια μικρή στατική μετατόπιση, ικανή να δημιουργήσει μια μικρή διαφορά φάσης μεταξύ των δύο κυματομετώπων, τότε παρατηρούνται κροσσοί συμβολής.

Στη διάταξη του σχήματος 5.5, το αντικείμενο βρίσκεται στην αρχική του θέση καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και καταγράφεται ένα ολόγραμμα,  $H$ . Στη

συνέχεια το ολόγραμμα επεξεργάζεται και επανατοποθετείται στην αρχική του θέση, έτσι ώστε το φανταστικό είδωλο,  $D$ , να επικαλύπτεται ακριβώς με το αντικείμενο. Η δέση αναφοράς είναι  $U_r$  και το μετατοπισμένο αντικείμενο,  $D'$ , φωτίζεται με την αρχική δέση αντικειμένου,  $U_\theta$ . Τα κυματομέτωπα  $U_s$  και  $U'_s$  είναι το κυματομέτωπο του ανακατασκευασμένου φανταστικού ειδώλου και το σκεδασμένο κυματομέτωπο από το μετατοπισμένο αντικείμενο, αντίστοιχα. Αυτά τα δύο κυματομέτωπα συμβάλλουν για να δώσουν κροσσούς συμβολής, η μορφή των οποίων εξαρτάται από τη γεωμετρία της μετατόπισης και τη θέση παρατήρησης.

Μια άλλη παραλλαγή είναι η τεχνική της *διπλής έκθεσης*, όπου αρχικά καταγράφεται ολόγραμμα του αρχικού αντικειμένου, και στη συνέχεια και πριν την επεξεργασία του ολογράμματος, το ολόγραμμα εκτίθεται στο φως από το μετατοπισμένο αντικείμενο. Το αποτέλεσμα είναι δύο επικαλυπτόμενα ανακατασκευασμένα κύματα, τα οποία δίνουν κροσσούς συμβολής, χαρακτηριστικούς της μετατόπισης του αντικειμένου (δηλαδή της διαφοράς στον οπτικό δρόμο).

Μια τρίτη παραλλαγή, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για τη μελέτη γρήγορα ταλαντούμενων αντικειμένων με μικρό πλάτος ταλάντωσης, είναι η *χρονικά ολοκληρωμένη* μέθοδος. Στην τεχνική αυτή η φωτογραφική πλάκα εκτίθεται στο φως για σχετικά μεγάλο χρόνο, κατά τον οποίο το δονούμενο αντικείμενο έχει εκτελέσει έναν αριθμό ταλαντώσεων. Το ολόγραμμα που προκύπτει μπορεί να θεωρηθεί ως η υπέρθεση πολλαπλών εικόνων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός σχήματος στάσιμου κύματος.

### 5.1.3. ELECTRONIC SPECKLE PATTERN INTERFEROMETRY (ESPI)

Στην κατηγορία των μη-καταστρεπτικών συμβολομετρικών οπτικών τεχνικών ανήκει και η ονομαζόμενη συμβολομετρία ψηφίδων (ESPI). Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται όταν ένα από τα συμβάλλοντα πεδία είναι ένα πεδίο ψηφίδων, το οποίο προκύπτει από την ανάκλαση φωτός από μια οπτικά ανώμαλη επιφάνεια. Το όνομα «ψηφίδα» χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διάστικτη, κοκκιδωτή και τυχαία φύση της κατανομής έντασης του ανακλώμενου φωτός, όπως αυτή παρατηρείται σε κάποια απόσταση από το αντικείμενο.

Ιστορικά, η τεχνική ESPI χρονολογείται από το 1971,<sup>10</sup> ένα χρόνο αργότερα από την εισαγωγή της ιδέας της συμβολής δύο σύμφωνων πεδίων τυχαίας φάσης πριν και μετά την παραμόρφωση ενός αντικειμένου.<sup>11</sup> Σύντομα ακολούθησε σημαντική ερευνητική εργασία τόσο σε θεωρητικό όσο σε πειραματικό επίπεδο,<sup>12 13 14 15</sup> με την τεχνική να γνωρίζει ιδιαίτερη άνθιση μετά την εισαγωγή της πειραματικής τεχνικής της ελεγχόμενης μετατόπισης φάσης (phase shifting) και της ψηφιακής ανάλυσης κροσσών με ηλεκτρονικό υπολογιστή.<sup>16</sup> Σήμερα η τεχνική ESPI έχει πλέον καθιερωθεί ως μια από τις πλέον σημαντικές συμβολομετρικές τεχνικές για τη μελέτη δονήσεων ή παραμορφώσεων αντικειμένων.

Η τεχνική ESPI, όπως όλες οι τεχνικές ψηφιακής συμβολομετρίας ψηφίδων (π.χ. TV holography, electronic holography, phase-shifting speckle pattern interferometry), είναι στενά συνδεδεμένη με την ολογραφική συμβολομετρία. Ενώ και οι δύο τεχνικές παρέχουν την ίδια ευαισθησία, η τεχνική ESPI δεν απαιτεί την καταγραφή ολογράμματος, οπότε απλουστεύεται η πειραματική διαδικασία. Η χρήση κάμερας, ως ψηφιακό πλέον καταγραφικό, στην τεχνική ESPI δίνει το πλεονέκτημα της καταγραφής και ταυτόχρονης απεικόνισης των κροσσών σε πραγματικό χρόνο. Από την άλλη μεριά, οι κροσσοί που καταγράφονται με την ESPI είναι σε γενικές γραμμές λιγότερο ευκρινείς σε σχέση με την ολογραφική συμβολομετρία.

Σε γενικές γραμμές, η βασική διάταξη ESPI περιλαμβάνει την καταγραφή δύο δεσμών laser από μια CCD κάμερα, από τις οποίες η μια προέρχεται από ανάκλαση στην υπό εξέταση δονούμενη επιφάνεια (δέσμη αντικειμένου) και η άλλη είναι αδιατάρακτο κομμάτι της αρχικής δέσμης laser που οδηγείται απ' ευθείας στην CCD

---

<sup>10</sup> J.N. Butters and J.A. Leendertz, *Holographic and video techniques applied to engineering measurement*, Journal of Measurement and Control **4**, pp. 349 – 354 (1971)

<sup>11</sup> J.A. Leendertz, Interferometric displacement measurement on scattering surfaces utilizing speckle effect, J. Phys. E: Scientific Instruments **3**, pp. 214 – 218 (1970)

<sup>12</sup> E.R. Robertson and J.M. Harvey (Eds.), *The engineering uses of holography*, Proceedings of the Symposium, University of Strathclyde, Cambridge University Press, Cambridge (1970)

<sup>13</sup> K. Biedermann and L. Ek, *A recording and display system for hologram interferometry with low resolution imaging devices*, J. Phys. E: Scientific Instruments **8**, pp. 571 – 576 (1975)

<sup>14</sup> O.J. Løkberg and K. Høgmoen, *Vibration phase mapping using electronic speckle pattern interferometry*, Appl. Opt. **15**, pp. 2701 – 2704 (1976)

<sup>15</sup> K. Høgmoen and O.J. Løkberg, *Detection and measurement of small vibrations using electronic speckle pattern interferometry*, Appl. Opt. **16**, pp. 1869 – 1875 (1977)

<sup>16</sup> P. Meinlschmidt, K.D. Hinsch and R.S. Sirohi (Eds.), *Selected papers on electronic speckle pattern interferometry*, SPIE MS132, SPIE, Bellingham (1996)

κάμερα (δέσμη αναφοράς). Η τεχνική βασίζεται στην διαδικασία αφαίρεσης ή πρόσθεσης διαδοχικών εικόνων που καταγράφονται καθώς το αντικείμενο μετατοπίζεται. Για την μελέτη περιοδικών, αρμονικών παραμορφώσεων χρησιμοποιείται πιο συχνά η χρονικά ολοκληρωμένη ESPI, όπου τα δεδομένα λαμβάνονται υπό μορφή τηλεοπτικών καρτέ με μεγάλους χρόνους έκθεσης σε σχέση με την περίοδο της κίνησης. Στη συνέχεια δίνεται η μαθηματική θεώρηση της τεχνικής ESPI και περιγράφεται με λεπτομέρεια η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των μεγαφώνων καθώς και η πειραματική διαδικασία.

### 5.1.3.1. ESPI: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Η τεχνική ESPI και οι εφαρμογές της για τη μελέτη δονούμενων αντικειμένων έχουν παρουσιαστεί λεπτομερώς σε πολλά αξιόλογα άρθρα αναφοράς και βιβλία.<sup>17</sup>  
<sup>18</sup> <sup>19</sup> <sup>20</sup> Εδώ θα περιγραφούν οι βασικές μαθηματικές αρχές που αφορούν σε αρμονικά ταλαντούμενα σώματα με την συγκεκριμένη χρονικά ολοκληρωμένη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των μεγαφώνων, δηλαδή αυτή της αφαίρεσης διαδοχικών εικόνων.

Θεωρούμε μια εγκάρσια αρμονικά δονούμενη επιφάνεια και ότι η απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας,  $w$ , σε κάθε σημείο της επιφάνειας  $(x,y)$  για κάθε χρονική στιγμή,  $t$ , είναι της μορφής:

$$w(x, y, t) = A(x, y) \cos[\omega t + \varphi_0(x, y)] \quad (5.5)$$

όπου  $A(x, y)$  είναι η κατανομή του πλάτους ταλάντωσης πάνω στην επιφάνεια,  $\omega$  η κυκλική συχνότητα της ταλάντωσης και  $\varphi_0(x, y)$  η κατανομή της φάσης δόνησης

---

<sup>17</sup> N.E. Molin, *Applications of whole field interferometry in mechanics and acoustics*, Opt. Lasers Eng. **31**, pp. 93-111 (1999)

<sup>18</sup> P.K. Rastogi (Ed.), *Digital speckle pattern interferometry and related techniques*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester (2001)

<sup>19</sup> R. Jones and C. Wykes, *Holographic and speckle interferometry*, Cambridge University Press, Cambridge (1989)

<sup>20</sup> C-H. Huang and C-C. Ma, *Experimental and numerical investigations of resonant vibration characteristics for piezoceramic plates*, J. Acoust. Soc. Am. **109**, pp. 2780-2788 (2001)

πάνω στην επιφάνεια. Η κατανομή φωτεινής έντασης που ανιχνεύει η κάμερα μέσα στο χρόνο έκθεσης,  $\tau$ , είναι:

$$I_1 = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \left\{ I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} \cdot \cos \left[ \varphi + \frac{2\pi}{\lambda} (1 + \cos \theta) A \cos(\omega t + \varphi_0) \right] \right\} dt \quad (5.6)$$

όπου  $I_A$  και  $I_B$  είναι οι κατανομές έντασης των δεσμών αντικειμένου και αναφοράς αντίστοιχα,  $\varphi$  είναι η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο παραπάνω δεσμών,  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος της πηγής laser, και  $\theta$  είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης φωτισμού του αντικειμένου και της διεύθυνσης παρατήρησης. Στην περίπτωση μας  $\theta \cong 0^\circ$ . Θέτοντας  $\Gamma = 4\pi/\lambda$  και  $\tau = 2m\pi/\omega$ , όπου  $m$  είναι ακέραιος, και ολοκληρώνοντας από την εξίσωση (4.6) προκύπτει ότι:

$$I_1 = I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} |(\cos \varphi) J_0(\Gamma A)| \quad (5.7)$$

όπου  $J_0$  είναι η συνάρτηση Bessel μηδενικής τάξης πρώτου είδους. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της χρονικής ολοκλήρωσης, στην εξίσωση (6.7) έχει εξαλειφθεί η φάση της δόνησης,  $\varphi_0$ .

Καθώς η ταλάντωση του αντικειμένου εξακολουθεί, θεωρούμε ότι το πλάτος ταλάντωσης αλλάζει από  $A$  σε  $A + \Delta A$ , λόγω αστάθμητων παραγόντων. Τότε μια δεύτερη εικόνα καταγράφεται, της οποίας η κατανομή φωτεινής έντασης μπορεί παρομοίως να εκφραστεί, μετά από ανάπτυγμα Taylor (υποθέτοντας  $\Delta A$  πολύ μικρό και κρατώντας μόνο τους δύο πρώτους όρους του αναπτύγματος), ως:

$$I_2 = I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} \left| (\cos \varphi) \left[ 1 - \frac{1}{4} \Gamma^2 (\Delta A)^2 \right] J_0(\Gamma A) \right| \quad (5.8)$$

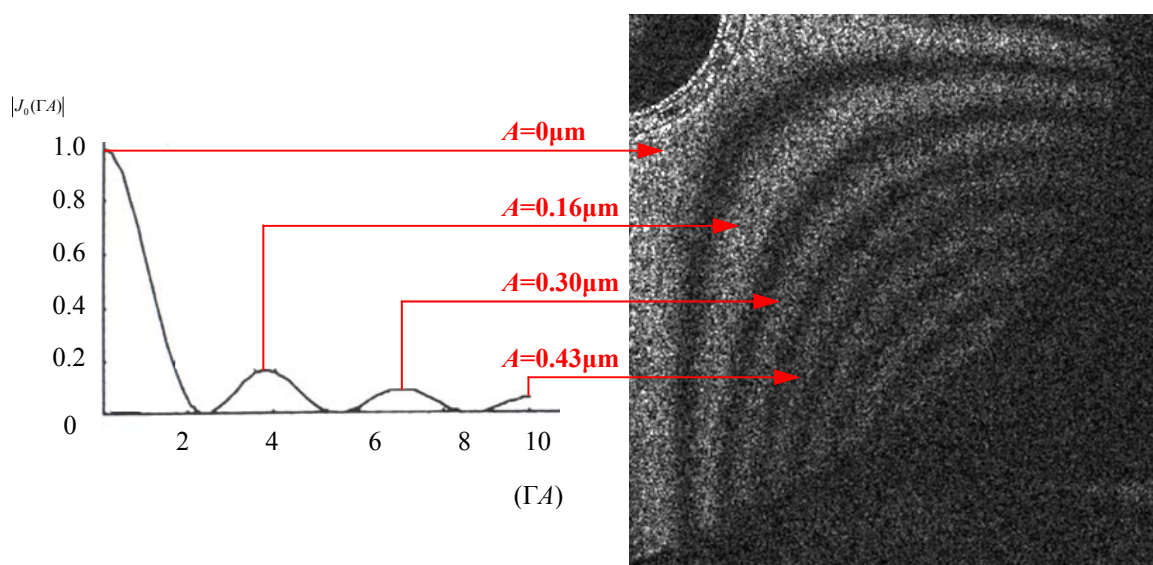
Οι δύο διαδοχικές εικόνες,  $I_1$  και  $I_2$ , αφαιρούνται μέσω κατάλληλου λογισμικού, και το αποτέλεσμα εκφράζεται ως:

$$I = I_1 - I_2 = \frac{\sqrt{I_A I_B}}{2} |(\cos \varphi) \Gamma^2 (\Delta A)^2 J_0(\Gamma A)| \quad (5.9)$$

Από την εξίσωση (5.9) είναι προφανές ότι το χρονικά ολοκληρωμένο συμβολόγραμμα,  $I$ , είναι διαμορφωμένο από τη συνάρτηση Bessel  $|J_0(\Gamma A)|$ . Οι



εναλλασσόμενοι φωτεινοί και σκοτεινοί κροσσοί είναι ουσιαστικά ισοϋψείς καμπύλες ίδιου πλάτους ταλάντωσης. Οι φωτεινοί κροσσοί αντιστοιχούν στα μέγιστα της  $|J_0(\Gamma A)|$ , με τον φωτεινότερο κροσσό να αντιστοιχεί σε δεσμό ( $A = 0$ ). Οι υπόλοιποι φωτεινοί κροσσοί, διαδοχικά μειούμενης φωτεινότητας, αντιστοιχούν σε τιμές πλάτους ταλάντωσης  $0.3\lambda$ ,  $0.56\lambda$ ,  $0.81\lambda$ ,  $1.07\lambda\dots$  Στο σχήμα 5.6 απεικονίζεται η αντιστοιχία αυτή για την περίπτωση συμβολογράμματος ESPI κρητικής λύρας όπου φαίνονται οι υπολογισμένες τιμές πλάτους ταλάντωσης ( $\lambda = 532\text{nm}$ ).



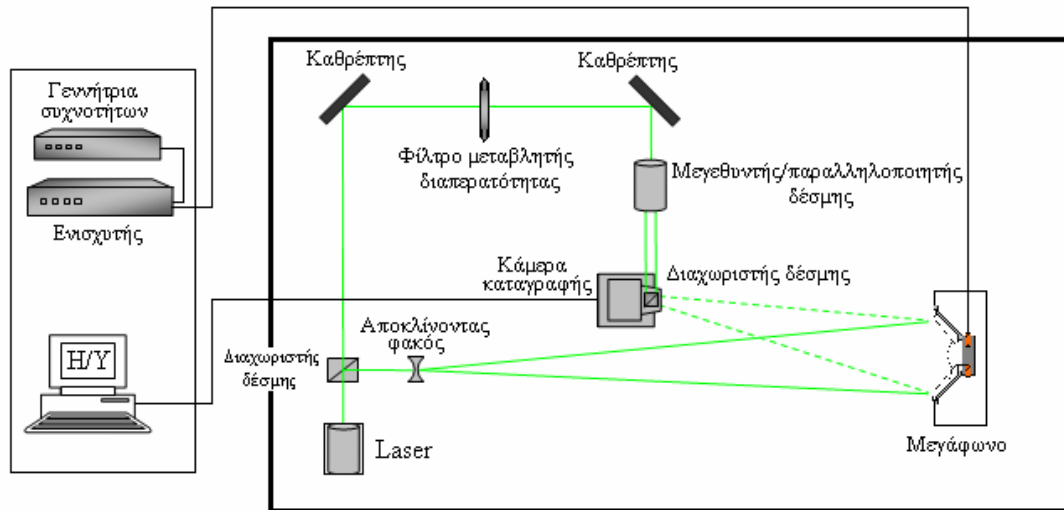
**Σχήμα 5.6**

Αντιστοιχία μεγίστων συνάρτησης Bessel  $|J_0(\Gamma A)|$  και κατανομής πλάτους ταλάντωσης μετρούμενης με την τεχνική ESPI.

Από τα παραπάνω διαφαίνεται το κύριο μειονέκτημα της τεχνικής ESPI, που είναι ο περιορισμός στη διακριτική ικανότητα που επιβάλλει το γεγονός ότι δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια μετατόπιση που αντιστοιχεί σε λιγότερο από ένα κροσσό. Επιπλέον, λόγω της διαμόρφωσης του συμβολογράμματος με τη συνάρτηση Bessel, δεν μπορούν να μετρηθούν πολύ μεγάλες μετατοπίσεις, αφού σε τέτοια περίπτωση η χωρική πυκνότητα των κροσσών θα είναι τόσο μεγάλη ώστε να καθίστανται πλέον μη ορατοί.

### 5.1.3.2 ESPI: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στο παρακάτω σχήμα 5.7 βλέπουμε την πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 5.7

Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης ESPI

Χρησιμοποιήθηκε μια πηγή laser συνεχούς μήκους κύματος (cw), στερεάς κατάστασης διοδικής άντλησης ενεργού υλικού Nd:YAG. Το μήκος κύματος εκπομπής είναι 532 nm (πράσινο) και η μέγιστη ισχύς 150 mW. Το laser είναι μονού διαμήκους ρυθμού ταλάντωσης, το οποίο σημαίνει ότι έχει μεγάλο μήκος συμφωνίας (> 10 m), καθώς και εγκάρσιου ρυθμού TEM<sub>00</sub>.

Η δέσμη του laser διαχωρίζεται μέσω διαχωριστή δέσμης 80:20 σε δύο δέσμες. Από αυτές η ισχυρότερη χρησιμοποιείται για τον φωτισμό του μεγαφώνου (δέσμη αντικειμένου), αφού πρώτα περάσει από σύστημα αποκλινόντων φακών, ώστε να φωτιστεί κατά το δυνατόν ομοιόμορφα όλη η επιφάνεια του αντικειμένου. Η ασθενέστερη από τις δύο δέσμες χρησιμοποιείται ως δέσμη αναφοράς, και οδηγείται μέσω καθρεπτών απ' ευθείας στο καταγραφικό όργανο.

Για την καταγραφή χρησιμοποιήθηκε CCD κάμερα, με μέγεθος αισθητήρα 1392×1040 pixels, μέγεθος pixel 6.45×6.45 μm και μέγιστο ρυθμό καταγραφής 15frames/sec. Η κάμερα διαθέτει κατάλληλο φακό συλλογής φωτός, ενώ συνδέεται απ' ευθείας με H/Y με σύνδεση IEEE1394. Λόγω του ότι στη συγκεκριμένη διάταξη η δέσμη αναφοράς προσπίπτει κάθετα στην κάμερα, σε σχέση με την δέσμη αντικειμένου, παρεμβάλλεται διαχωριστής δέσμης 50:50 μεταξύ του αισθητήρα και

του φακού της, ώστε οι δύο δέσμες να προσπίπτουν τελικά ευθυγραμμισμένες και οι δύο μαζί πάνω στον αισθητήρα. Για την ρύθμιση της σχετικής έντασης των δύο δεσμών χρησιμοποιείται ουδέτερο φίλτρο μεταβλητής διαπερατότητας (variable neutral optical density filter) τοποθετημένο στην δέσμη αναφοράς. Η σχετική ένταση των δεσμών στον αισθητήρα είναι τυπικά 1:1. Για την ομοιόμορφη κατανομή της έντασης της δέσμης αναφοράς πάνω στον αισθητήρα, χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν μεγεθυντής και παραλληλοποιητής δέσμης  $\times 20$ . Τέλος, σημειώνεται ότι όλη η οπτική διάταξη είναι τοποθετημένη σε αντικραδασμική τράπεζα με πνευματικά πόδια, για την απομόνωση των κραδασμών του περιβάλλοντος.

Η ηλεκτρονική καταγραφή, επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων (εικόνων) γίνεται σε πραγματικό χρόνο, μέσω ειδικού λογισμικού που έχει αναπτυχθεί σε περιβάλλον LabView από το επιστημονικό προσωπικό και συνεργάτες του Τμήματος Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής. Το λογισμικό αυτό επίσης παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου των λειτουργιών της CCD κάμερας (φωτεινότητα, χρόνος έκθεσης, ρυθμός καταγραφής κτλ). Τελικά τα δεδομένα (εικόνες) απεικονίζονται στην οθόνη του Η/Υ.

Η πειραματική διαδικασία για την μελέτη του μεγαφώνου με την τεχνική ESPI πραγματοποιήθηκε ως εξής: αρχικά γίνεται οπτική ευθυγράμμιση και ρυθμίζονται οι σχετικές εντάσεις των δεσμών αναφοράς και αντικειμένου στον αισθητήρα της κάμερας. Η εικόνα  $I(x,y)$ , που περιγράφεται από την εξίσωση (5.9), καταγράφεται συνεχώς καθώς αλλάζει η συχνότητα διέγερσης. Η συχνότητα διέγερσης μεταβάλλεται, ενώ σε κάθε συχνότητα καταγράφονται αρκετές εικόνες. Τα αποτελέσματα της τεχνικής ESPI παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για τον προσδιορισμό των ιδιομορφών του μεγαφώνου χρησιμοποιήθηκε η οπτική τεχνική της ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry - ESPI) η οποία αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μέρη των πειραματικών αποτελεσμάτων, όπου:

α) Στο πρώτο μέρος πραγματοποιείται η σύγκριση μεταξύ τριών tweeter της ίδιας εταιρίας (Tonsil), του ίδιου μοντέλου (Cone Tweeter Loudspeaker GDW 9/60) και φυσικά των ιδίων τεχνικών χαρακτηριστικών.

Ο σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι να διαπιστωθεί εάν όμοια tweeters παρουσιάζουν πανομοιότυπη συμπεριφορά και αν οι πιθανές ομοιότητες ή διαφορές να είναι δυνατό να καταγραφούν με την τεχνική ESPI.

β) Στο δεύτερο μέρος των μετρήσεων καταγράφονται οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του πρώτου tweeter μετά τη δημιουργία τεσσάρων διαδοχικών προβλημάτων (τρυπών) στο ίδιο σημείο του κώνου. Η διάμετρος της τρύπας αυξάνεται κάθε φορά με αντικείμενα (καρφίτσες, καρφιά) διαφορετικής διαμέτρου.

Σ' αυτό το μέρος σκοπός μας είναι να διαπιστώσουμε εάν η Τεχνική ESPI έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύει τέτοιου είδους φθορές στην επιφάνεια του κώνου του μεγαφώνου. Επίσης ενδιαφέρον θα ήταν να απαντήσουμε εάν τέτοιου είδους φθορές παρουσιάζουν αλλοιώσεις στη συμπεριφορά του tweeter και εάν αυτές οι αλλοιώσεις μπορούν να καταγραφούν με την τεχνική ESPI.

γ) Στο τρίτο μέρος καταγράφονται οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του πρώτου tweeter μετά τη δημιουργία δεύτερου προβλήματος ( $2^{15}$  τρύπας) και την χάραξη ενός τόξου στον κώνο. Η δεύτερη τρύπα δημιουργείται κάτω από την πρώτη σε απόσταση 0.8cm για να παρατηρηθεί εάν θα υπάρξει διαφορά στην ανακατάταξη των κροσσών συμβολής στη συγκεκριμένη μεριά του κώνου με σκοπό να διαπιστώσουμε εάν πιο σύνθετα προβλήματα στην επιφάνεια του κώνου αλλοιώνουν τα ακουστικά χαρακτηριστικά ενός μεγαφώνου και εάν αυτές οι αλλοιώσεις μπορούν να καταγραφούν με την τεχνική ESPI.

δ) Τέλος καταγράφονται οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του τρίτου tweeter πριν αλλά και μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία του. Είναι γνωστό στους ηχολήπτες ότι ένα οποιοδήποτε ηχείο λειτουργεί καλύτερα εάν πριν τη χρήση του το

θέσουμε σε λειτουργία για μερικές ώρες σε χαμηλή ένταση. Είναι ουσιαστικά το στρώσιμο του ηχείου. Αυτή την καλύτερη λειτουργία θέλαμε να διαπιστώσουμε με τη χρήση της τεχνικής ESPI.

## 6.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΡΙΩΝ TWEETER

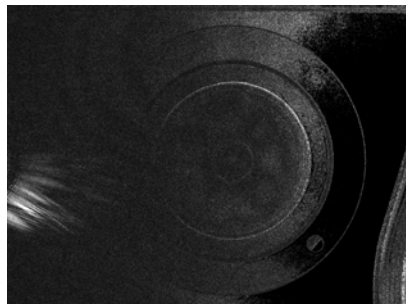
Στο πρώτο μέρος των πειραματικών αποτελεσμάτων παρουσιάζονται, οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης των τριών tweeter, τα οποία συγκρίνονται μέσα στο ακουστικό φάσμα ανά 500 Hz. Για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση χρειάστηκε να βρούμε την ιδανική τιμή του πλάτους στον ενισχυτή ώστε η κατανομές πλάτους ταλάντωσης να γίνονται πιο διακριτές. Αυτή η τιμή του πλάτους πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή και συγκεκριμένα όπως βρέθηκε 0.6 Volt με απόκλιση  $\pm 0.1$  Volt. Το  $\pm 0.1$  Volt γιατί όταν έχουμε τις πολύ χαμηλές συχνότητες (π.χ. 2.000Hz) το πλάτος πρέπει να κατέβει στα 0.5 Volt ώστε οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης να γίνονται πιο διακριτές και όταν έχουμε τις μέγιστες συχνότητες το πλάτος πρέπει να ανέβει στα 0.7 Volt αντίστοιχα. Οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης παρουσιάζονται παρακάτω σε κλίμακα 1 : 2,63.

Μέτρηση στα 2000 Hz

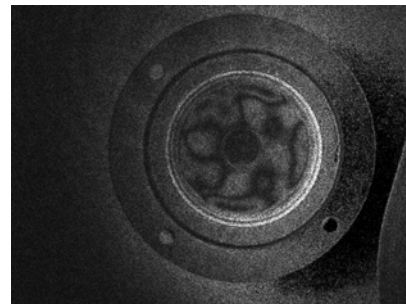
1° Tweeter



2° Tweeter

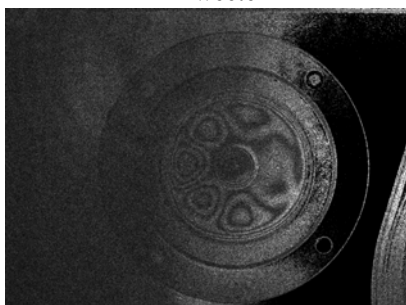


3° Tweeter

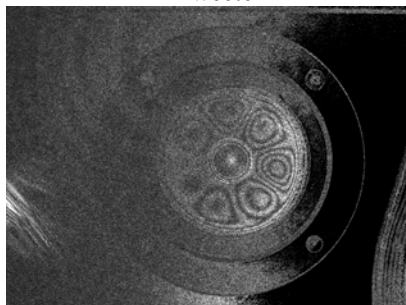


Μέτρηση στα 2500 Hz

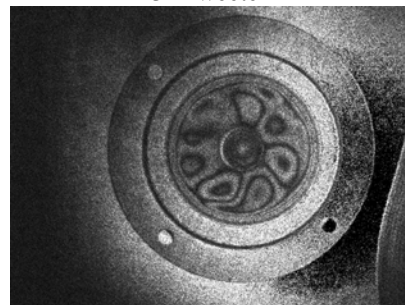
1° Tweeter



2° Tweeter



3° Tweeter

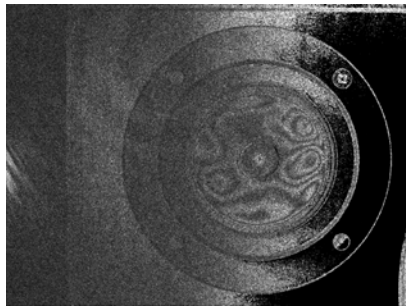


Μέτρηση στα 3000 Hz

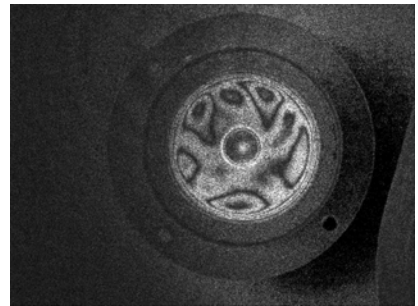
1° Tweeter



2° Tweeter



3° Tweeter

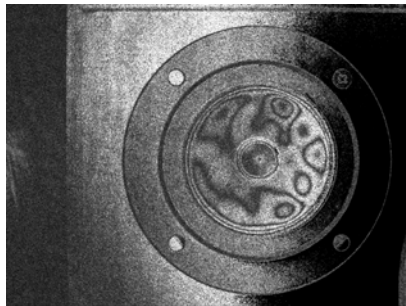


Μέτρηση στα 3500 Hz

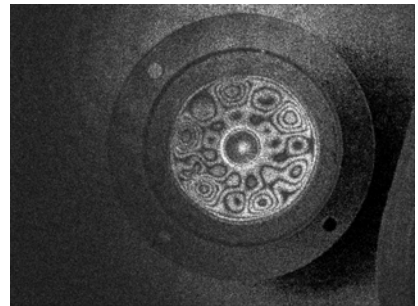
1° Tweeter



2° Tweeter



3° Tweeter

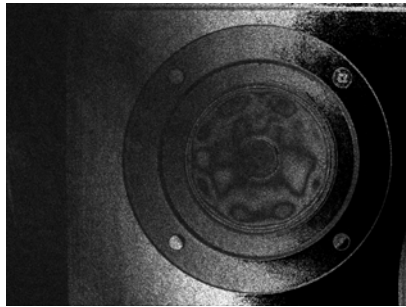


Μέτρηση στα 4000 Hz

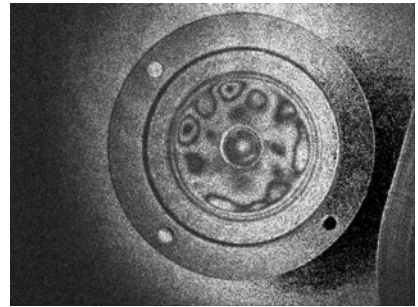
1° Tweeter



2° Tweeter

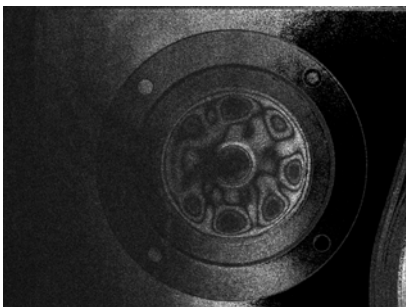


3° Tweeter

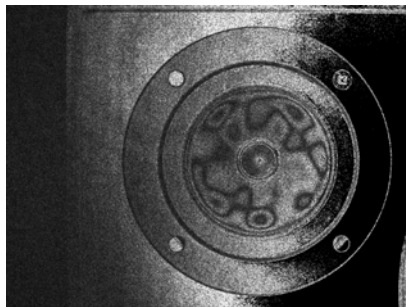


Μέτρηση στα 4500 Hz

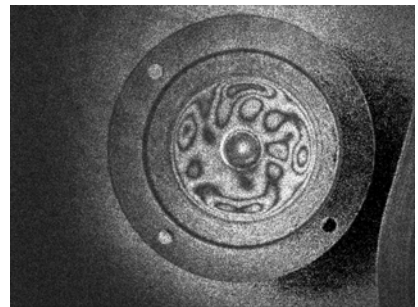
1° Tweeter



2° Tweeter

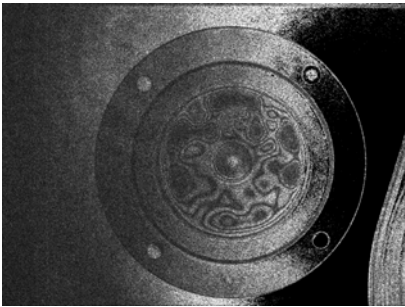


3° Tweeter

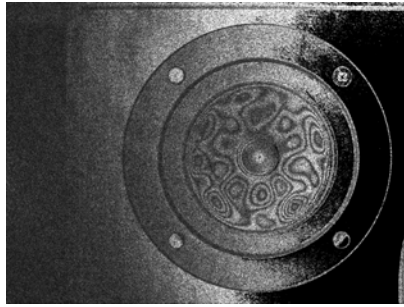


Μέτρηση στα 5000 Hz

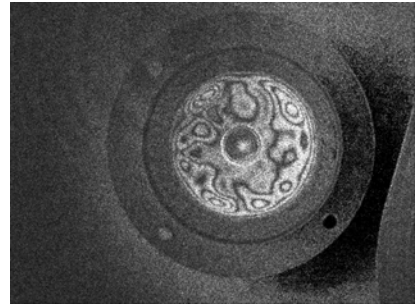
1° Tweeter



2° Tweeter

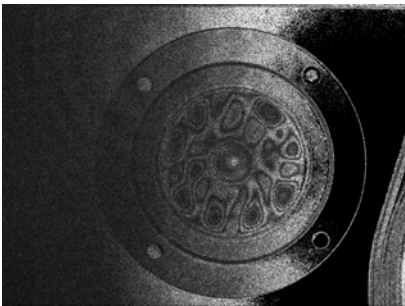


3° Tweeter

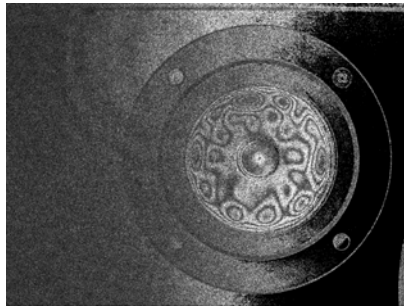


Μέτρηση στα 5500 Hz

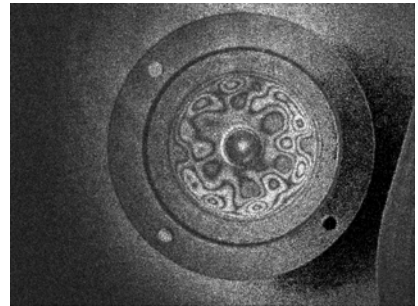
1° Tweeter



2° Tweeter



3° Tweeter

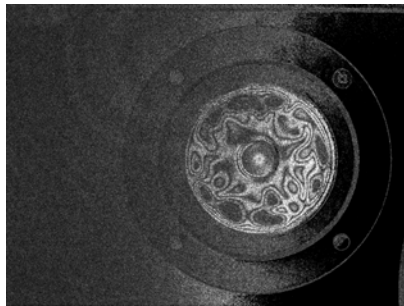


Μέτρηση στα 6000 Hz

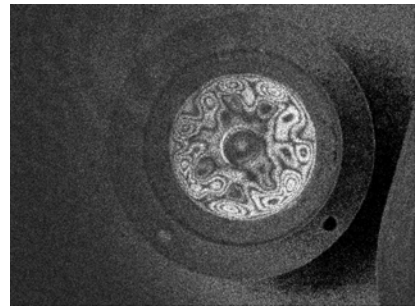
1° Tweeter



2° Tweeter

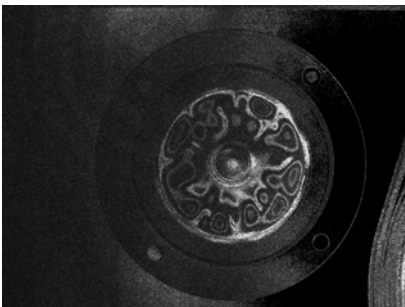


3° Tweeter

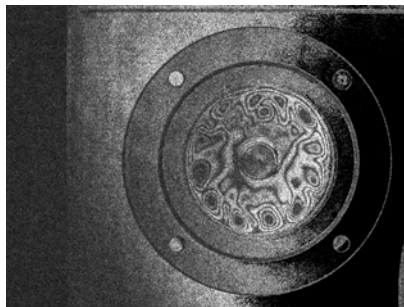


Μέτρηση στα 6500 Hz

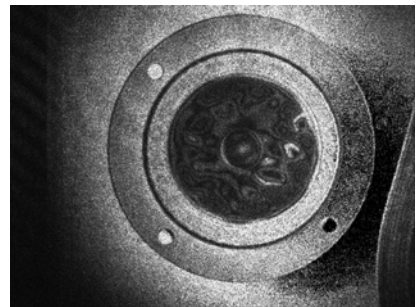
1° Tweeter



2° Tweeter



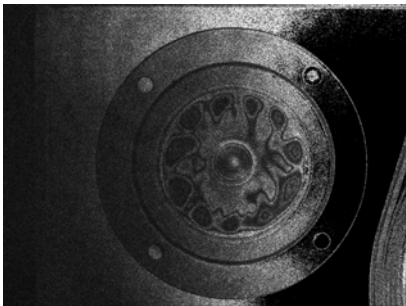
3° Tweeter



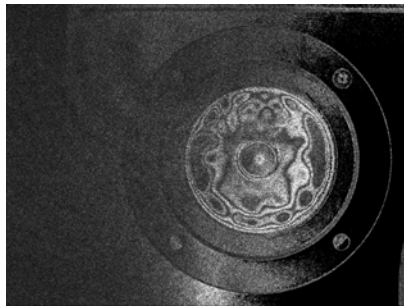


Μέτρηση στα 7000 Hz

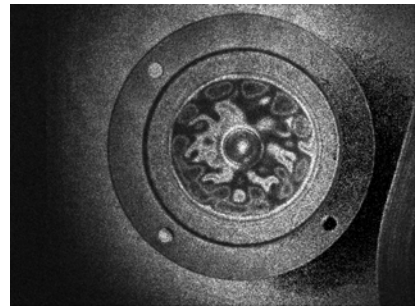
1° Tweeter



2° Tweeter

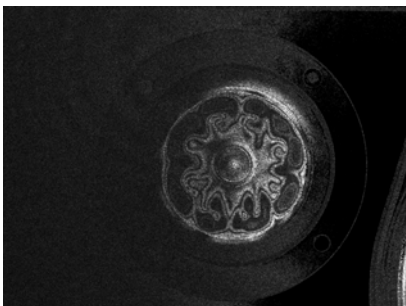


3° Tweeter

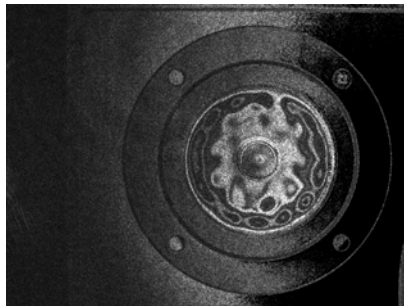


Μέτρηση στα 7500 Hz

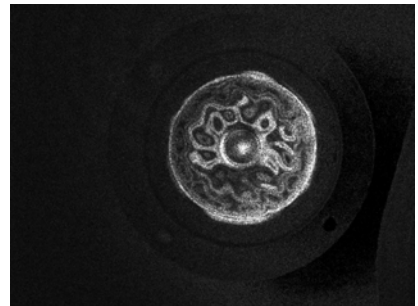
1° Tweeter



2° Tweeter

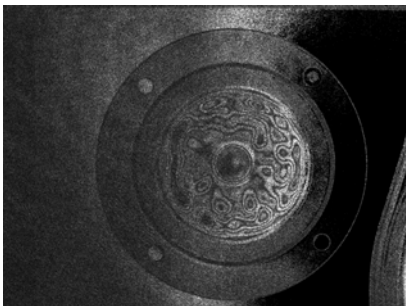


3° Tweeter

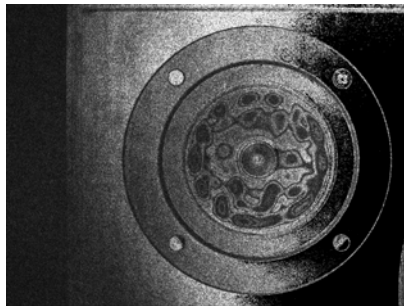


Μέτρηση στα 8000 Hz

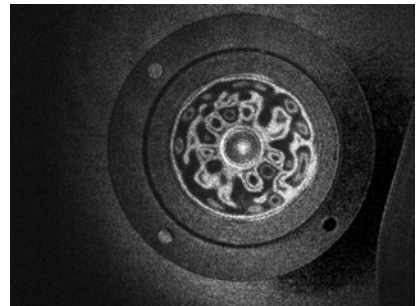
1° Tweeter



2° Tweeter

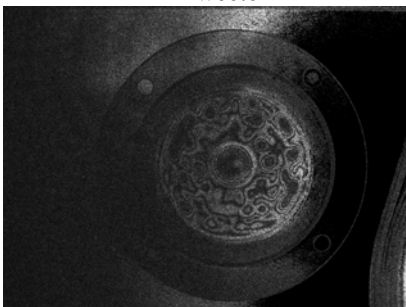


3° Tweeter

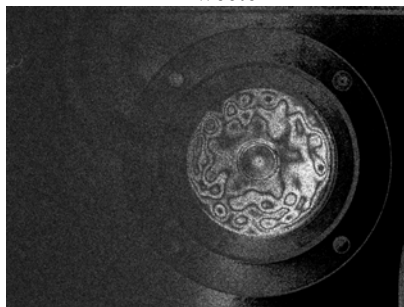


Μέτρηση στα 8500 Hz

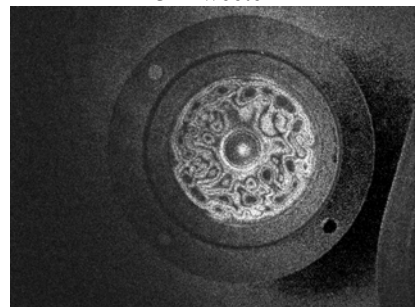
1° Tweeter



2° Tweeter



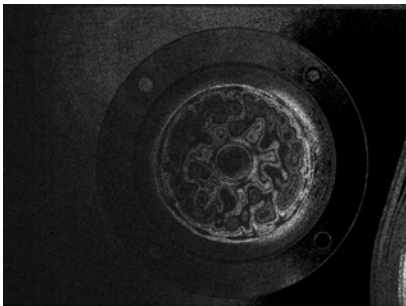
3° Tweeter



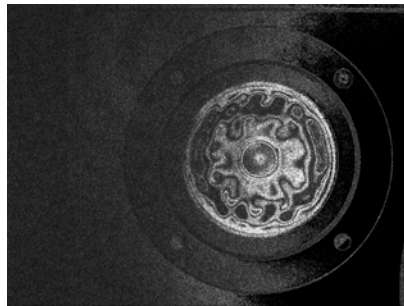


Μέτρηση στα 9000 Hz

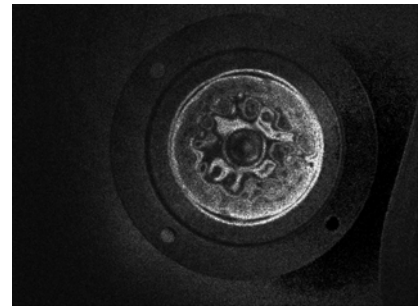
1° Tweeter



2° Tweeter

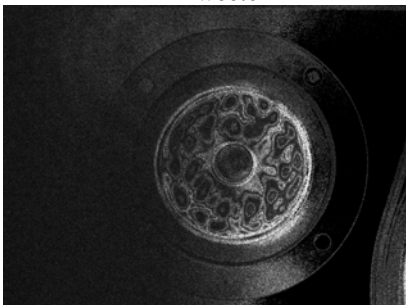


3° Tweeter

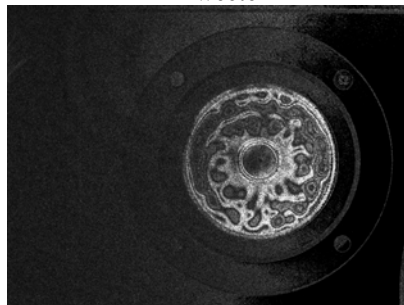


Μέτρηση στα 9500 Hz

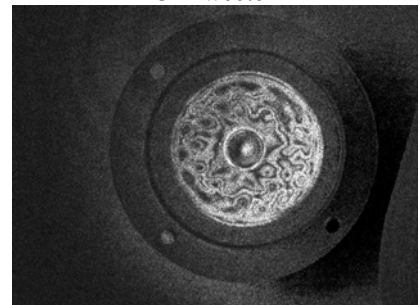
1° Tweeter



2° Tweeter

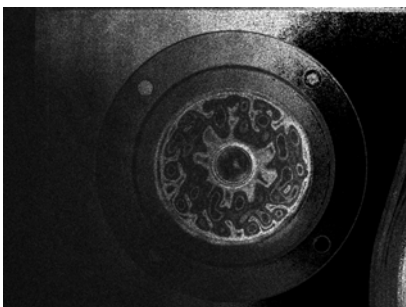


3° Tweeter

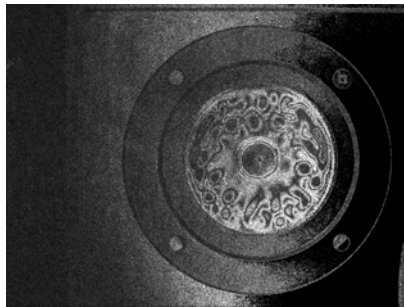


Μέτρηση στα 10000 Hz

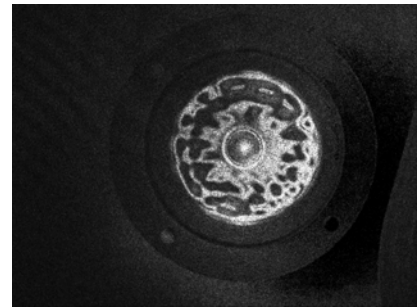
1° Tweeter



2° Tweeter

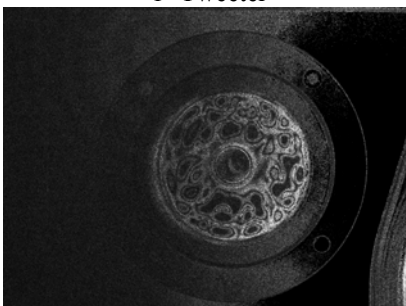


3° Tweeter

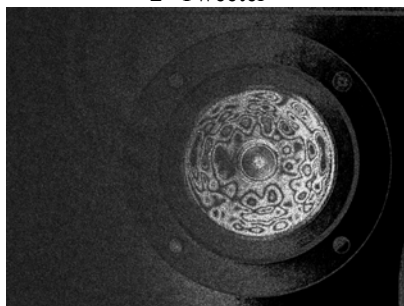


Μέτρηση στα 10500 Hz

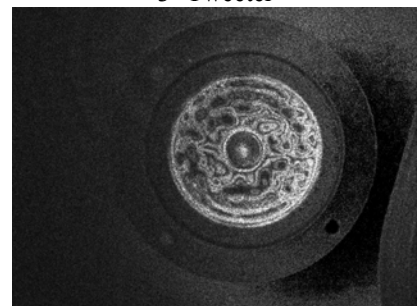
1° Tweeter



2° Tweeter

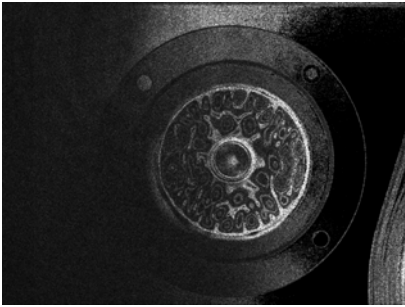


3° Tweeter

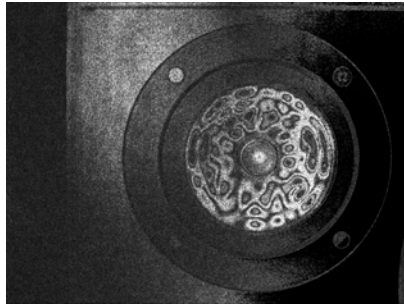


Μέτρηση στα 11000 Hz

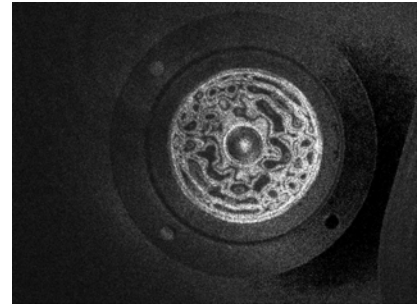
1° Tweeter



2° Tweeter

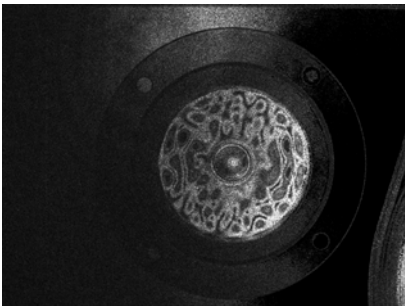


3° Tweeter

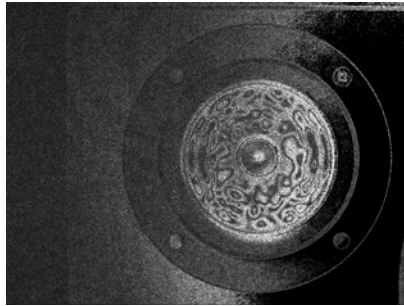


Μέτρηση στα 11500 Hz

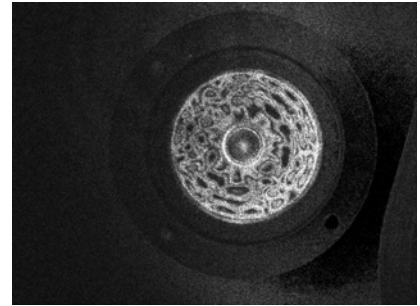
1° Tweeter



2° Tweeter



3° Tweeter

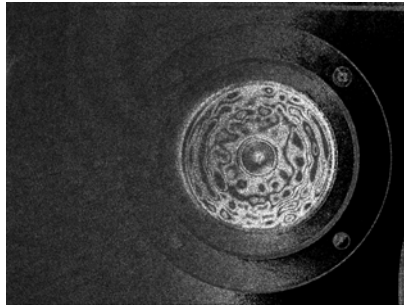


Μέτρηση στα 12000 Hz

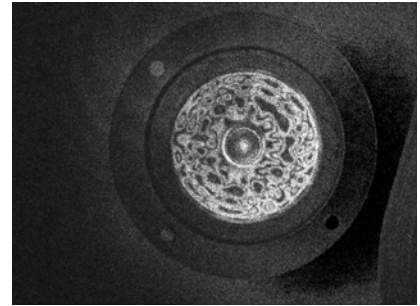
1° Tweeter



2° Tweeter

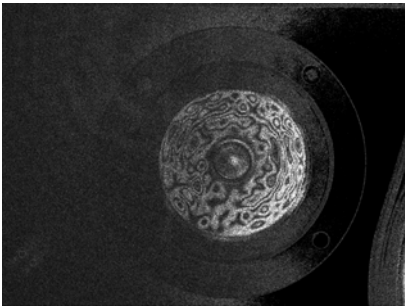


3° Tweeter

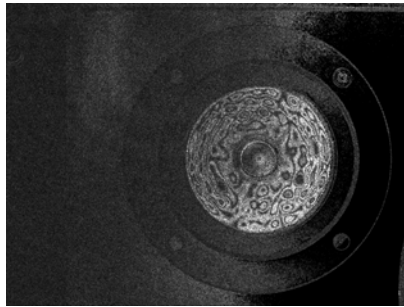


Μέτρηση στα 12500 Hz

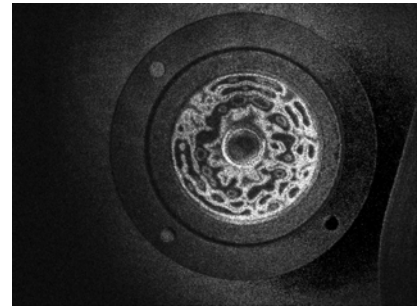
1° Tweeter



2° Tweeter

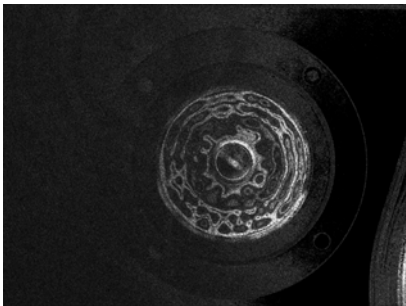


3° Tweeter

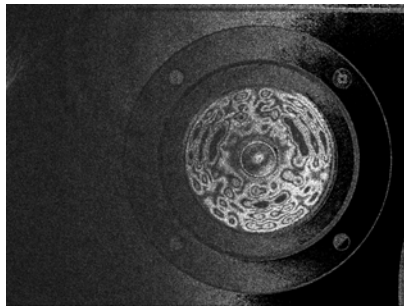


Μέτρηση στα 13000 Hz

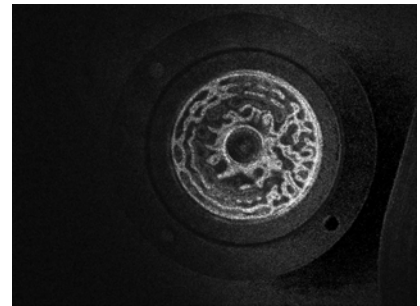
1° Tweeter



2° Tweeter

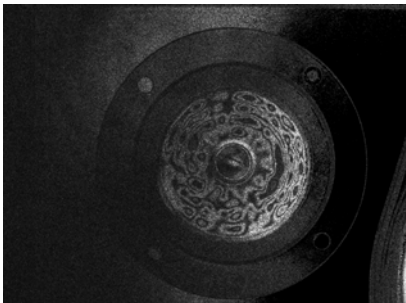


3° Tweeter

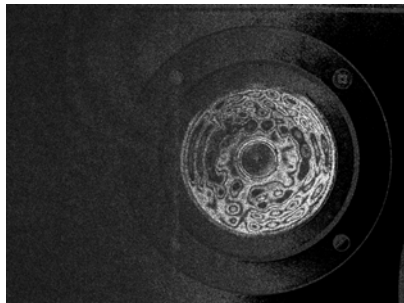


Μέτρηση στα 13500 Hz

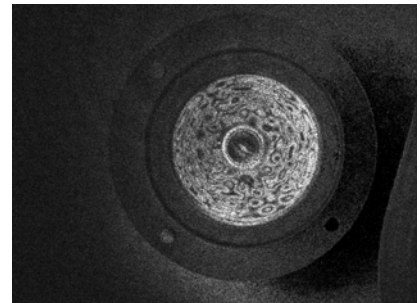
1° Tweeter



2° Tweeter

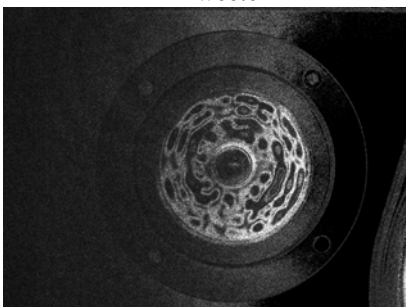


3° Tweeter

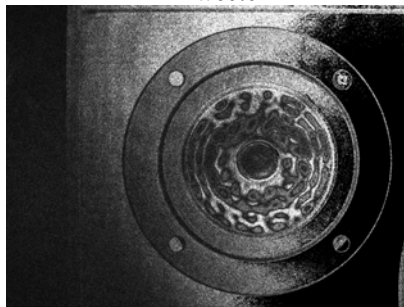


Μέτρηση στα 14000 Hz

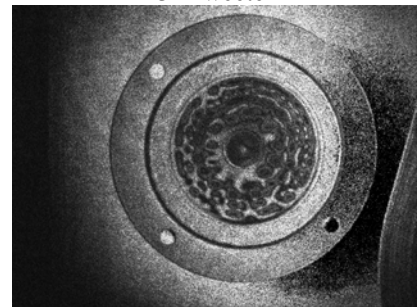
1° Tweeter



2° Tweeter

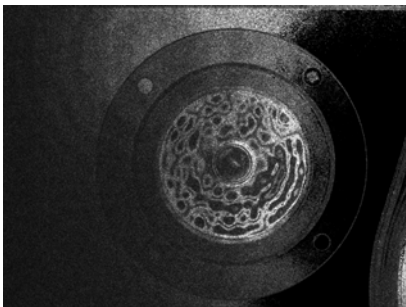


3° Tweeter

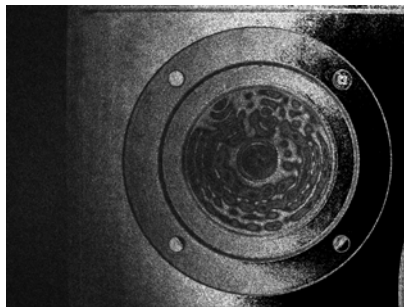


Μέτρηση στα 14500 Hz

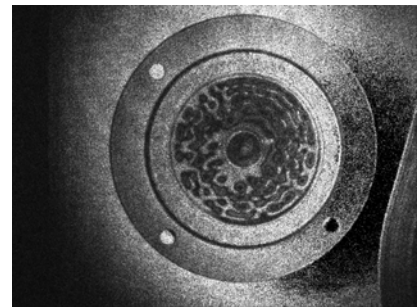
1° Tweeter



2° Tweeter

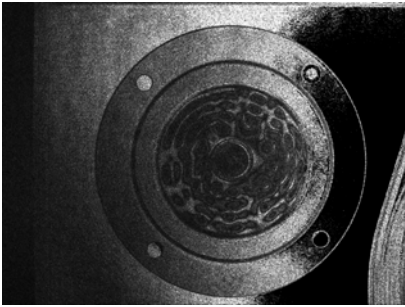


3° Tweeter

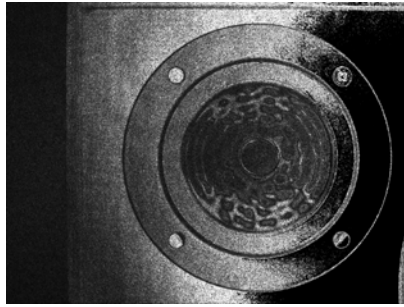


Μέτρηση στα 15000 Hz

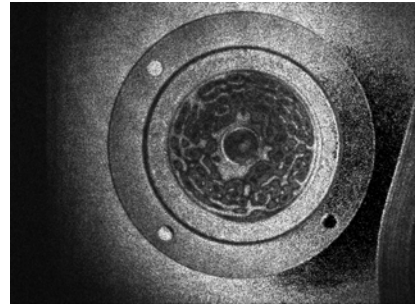
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

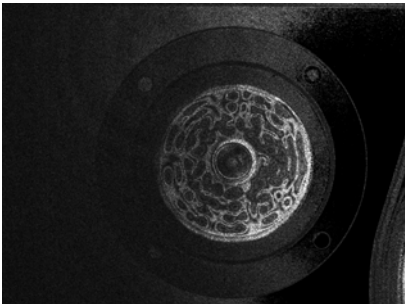


3<sup>ο</sup> Tweeter

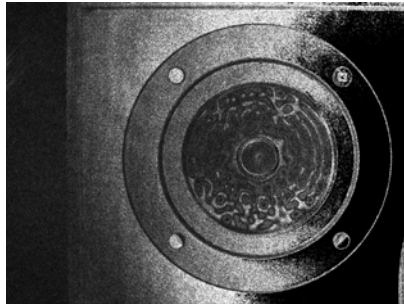


Μέτρηση στα 15500 Hz

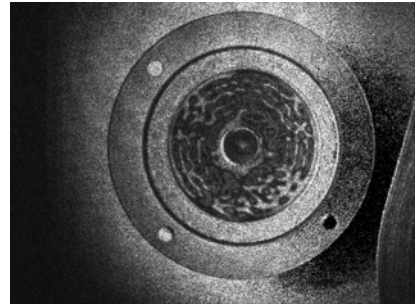
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

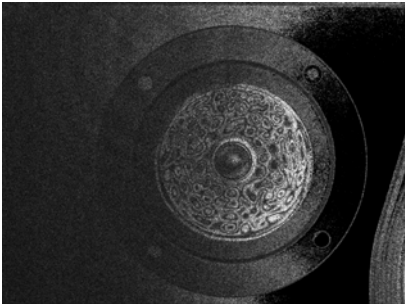


3<sup>ο</sup> Tweeter

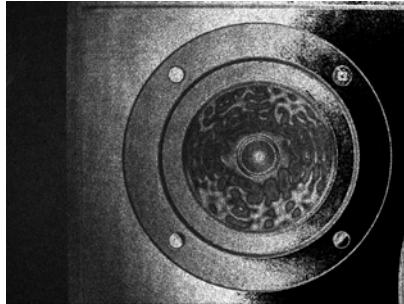


Μέτρηση στα 16000 Hz

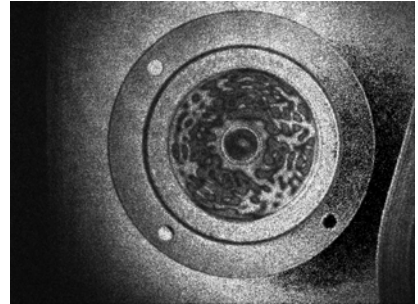
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

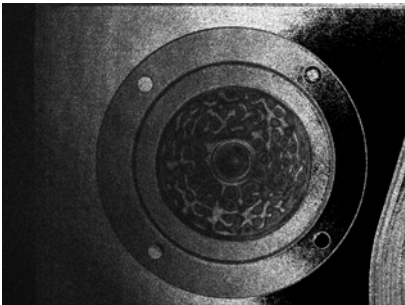


3<sup>ο</sup> Tweeter

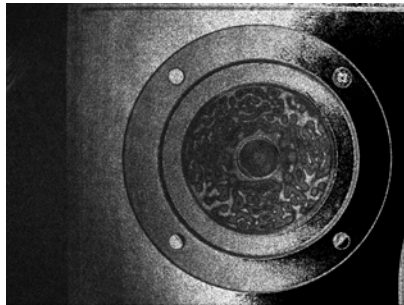


Μέτρηση στα 16500 Hz

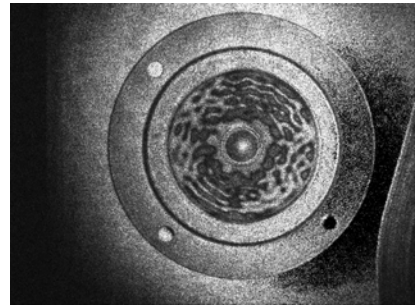
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter



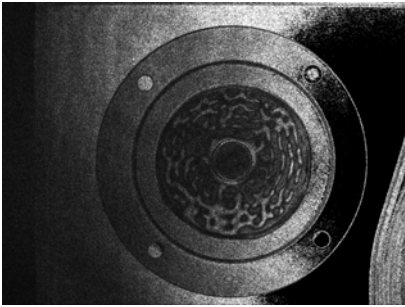
3<sup>ο</sup> Tweeter



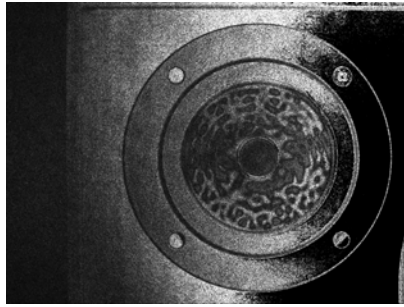


Μέτρηση στα 17000 Hz

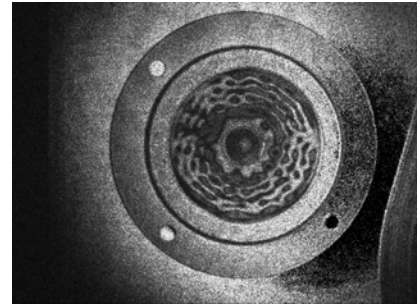
1° Tweeter



2° Tweeter

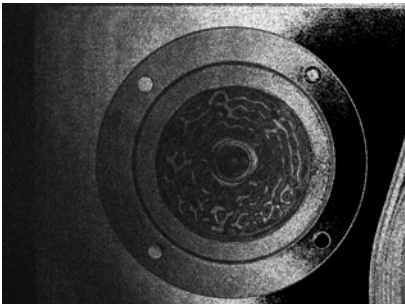


3° Tweeter

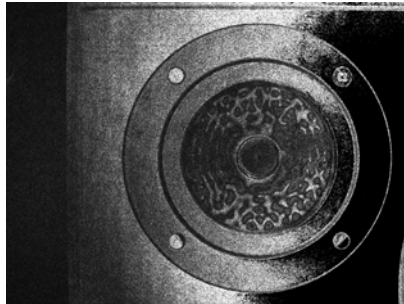


Μέτρηση στα 17500 Hz

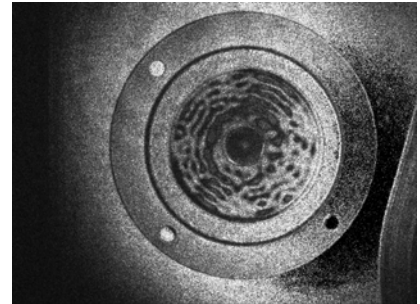
1° Tweeter



2° Tweeter

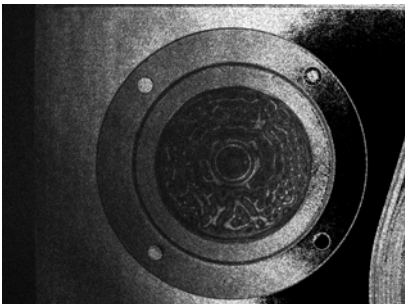


3° Tweeter

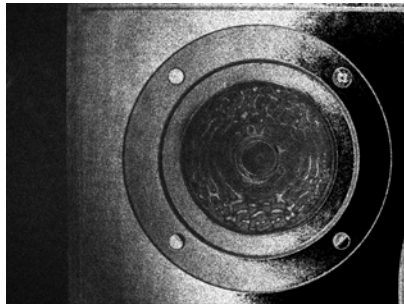


Μέτρηση στα 18000 Hz

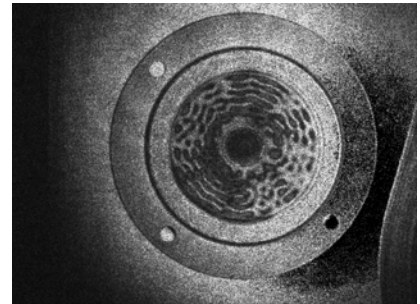
1° Tweeter



2° Tweeter

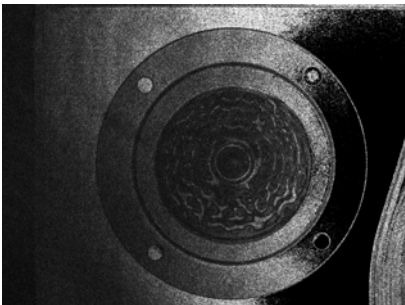


3° Tweeter

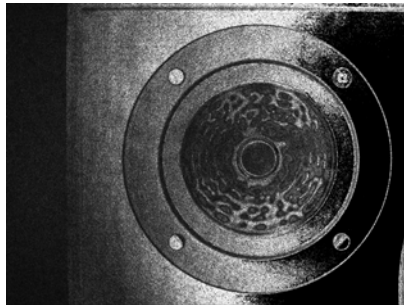


Μέτρηση στα 18500 Hz

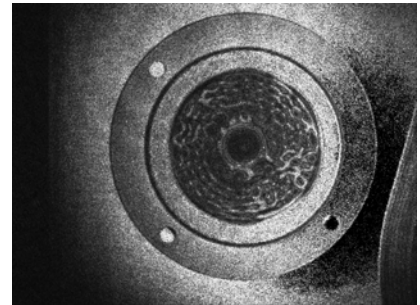
1° Tweeter



2° Tweeter

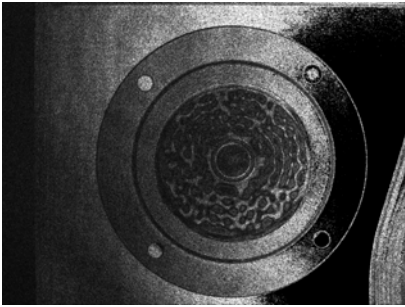


3° Tweeter

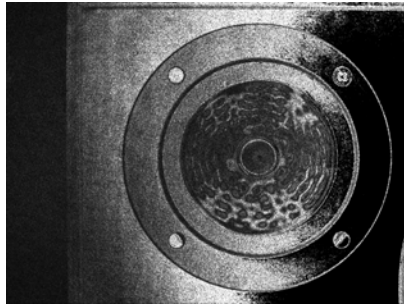


Μέτρηση στα 19000 Hz

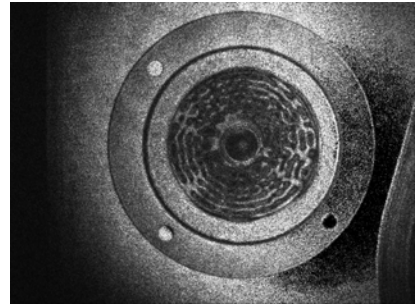
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

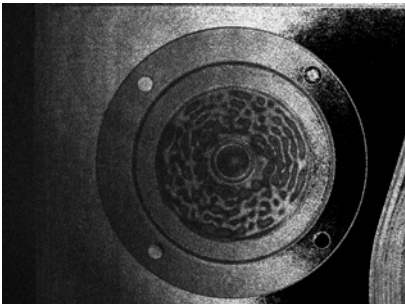


3<sup>ο</sup> Tweeter

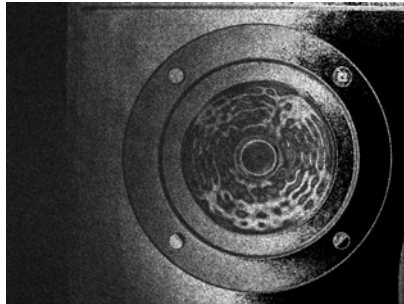


Μέτρηση στα 19500 Hz

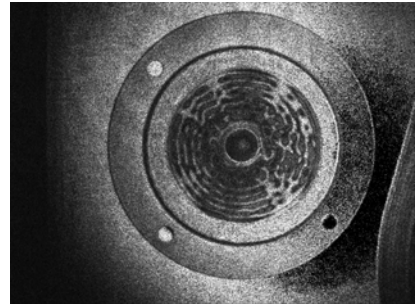
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

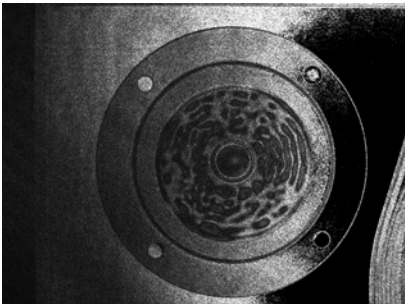


3<sup>ο</sup> Tweeter

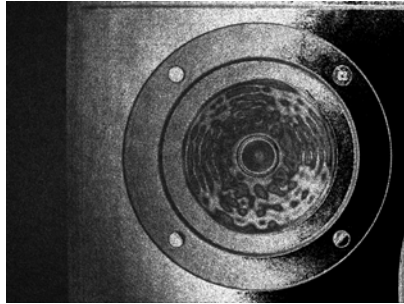


Μέτρηση στα 20000 Hz

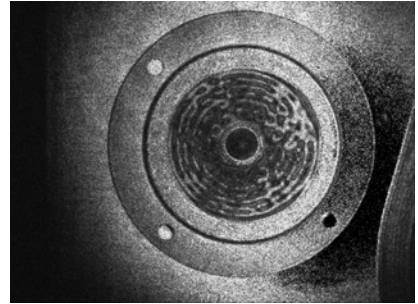
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

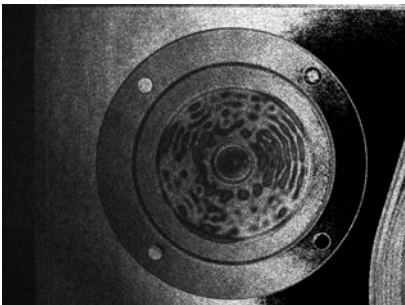


3<sup>ο</sup> Tweeter

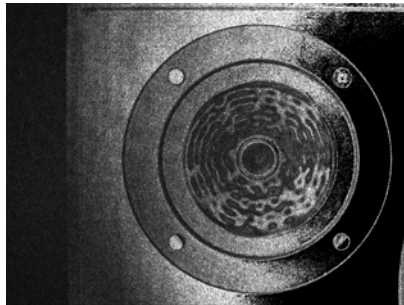


Μέτρηση στα 20500 Hz

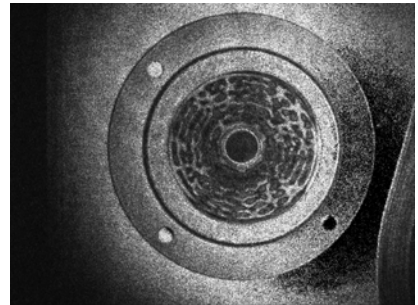
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

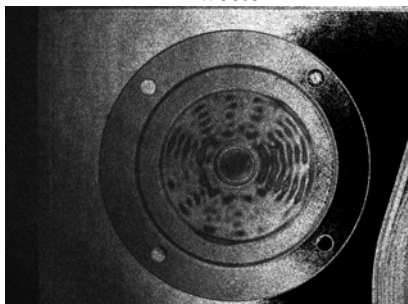


3<sup>ο</sup> Tweeter

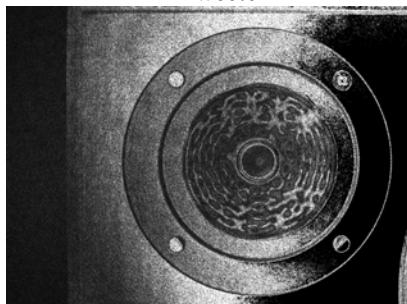


Μέτρηση στα 21000 Hz

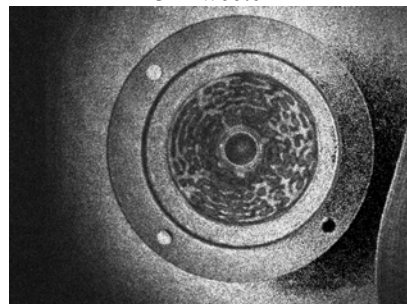
1° Tweeter



2° Tweeter

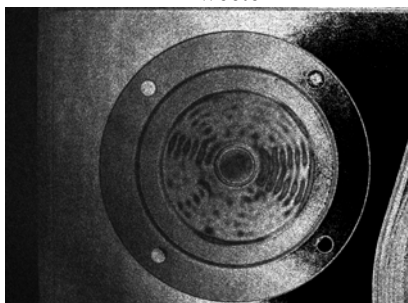


3° Tweeter

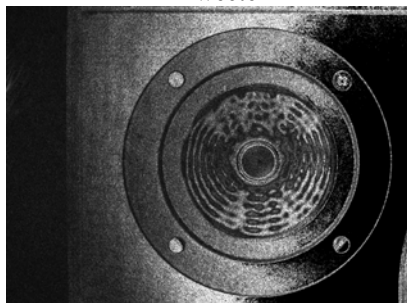


Μέτρηση στα 21500 Hz

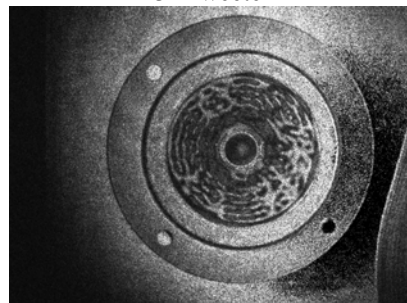
1° Tweeter



2° Tweeter



3° Tweeter

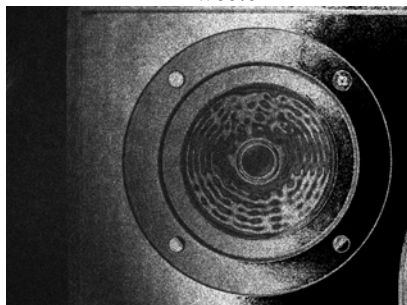


Μέτρηση στα 22000 Hz

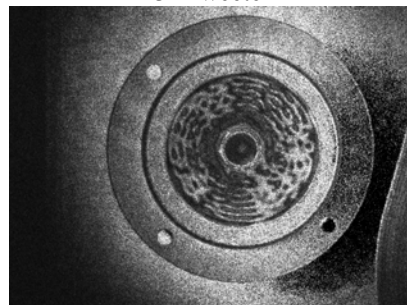
1° Tweeter



2° Tweeter



3° Tweeter

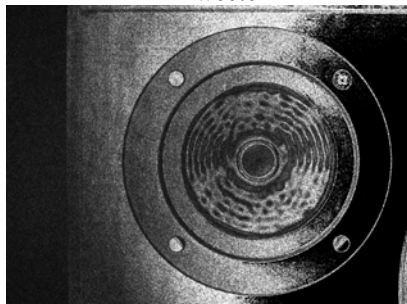


Μέτρηση στα 22500 Hz

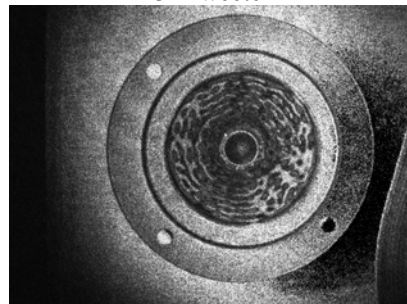
1° Tweeter



2° Tweeter

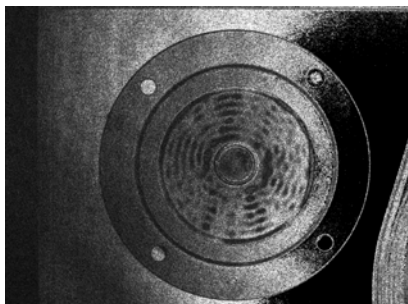


3° Tweeter

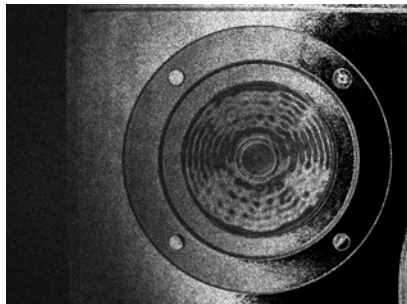


### Μέτρηση στα 23000 Hz

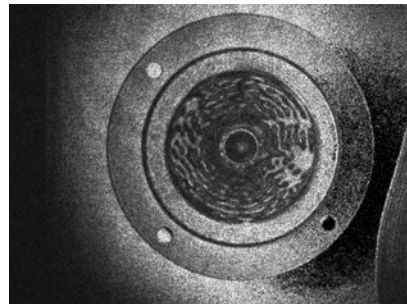
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

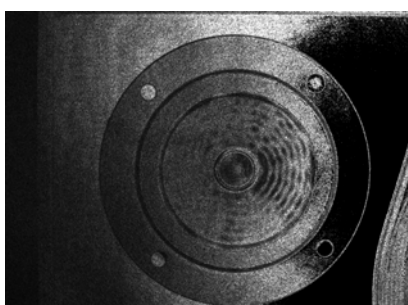


3<sup>ο</sup> Tweeter

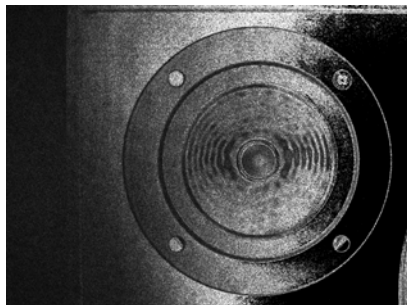


### Μέτρηση στα 25000 Hz

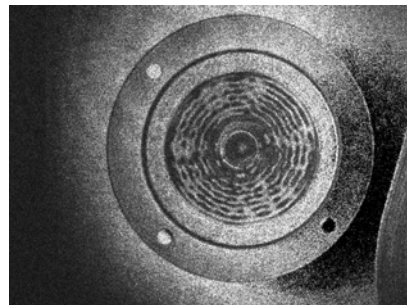
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter

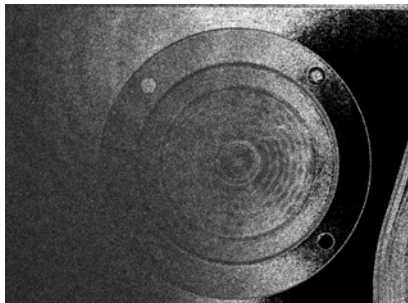


3<sup>ο</sup> Tweeter

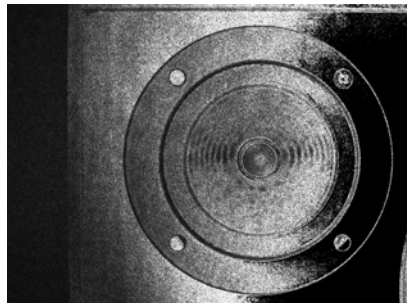


### Μέτρηση στα 27000 Hz

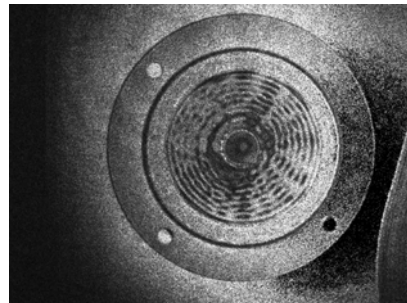
1<sup>ο</sup> Tweeter



2<sup>ο</sup> Tweeter



3<sup>ο</sup> Tweeter



Όπως αναφέρθηκε στα τεχνικά χαρακτηριστικά του κεφαλαίου 5, τα συγκεκριμένα tweeters έχουν συχνотικό εύρος (frequency range) από 3.000 Hz έως τα 20.000 Hz, γεγονός που διαπιστώθηκε ότι ισχύει καθώς στα αποτελέσματα παρατηρούνται διακριτές κατανομές πλάτους ταλάντωσης από τα 2.500 Hz έως τα 21.000 Hz. Μάλιστα στις χαμηλές συχνότητες γύρω στα 2.000 Hz - 3.000Hz αναγκαστήκαμε να κατέβουμε στην τάση που χρησιμοποιούσαμε και να πάμε από τα 0,6 στα 0,5 Volt για να έχουμε διακριτές κατανομές πλάτους ταλάντωσης και επίσης για να καταγράψουμε πιο καθαρές κατανομές πλάτους ταλάντωσης στις συχνότητες άνω των 18.000 Hz χρησιμοποιήσαμε τάση 0,7 Volt. Εμείς θα λέγαμε λοιπόν ότι η καλύτερη λειτουργία του tweeter ήταν στην μπάντα συχνοτήτων από 3.000 Hz – 17.500 Hz.



Αν κοίταζε κανείς τις κατανομές πλάτους ταλάντωσης από τα 18.000 Hz και άνω θα έβλεπε πως οι κώνοι των tweeters συμπεριφέρονται σαν μια επίπεδη επιφάνεια λίμνης όταν πέσει πάνω της μια πέτρα. δημιουργούνται κύματα σε ομόκεντρους κύκλους. Αυτό συμβαίνει διότι:

$$c = \lambda \cdot f \Leftrightarrow \lambda = \frac{c}{f}$$

δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα  $f$  τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος  $\lambda$  και όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος  $\lambda$  δημιουργούνται περισσότερες δονήσεις στην επιφάνεια του κώνου. Στην τιμή των 18 KHz και άνω η τεχνική ESPI δεν έχει την διακριτική ικανότητα να δει όλες αυτές τις επιμέρους ταλαντώσεις του κώνου. Ωστόσο αυτό που φαίνεται είναι ότι η επιφάνεια του κώνου δεν ταλαντώνεται στα επιμέρους σημεία του αλλά όλη η επιφάνεια μαζί (ομόκεντροι κύκλοι).

Θα πίστευε κανείς βλέποντας τις κατανομές πλάτους ταλάντωσης των τριών tweeter, από τη στιγμή που έχει προαναφερθεί ότι είναι ολόιδια (ίδιος τύπος, της ίδιας εταιρίας), πως θα ήταν ίδιες. Υπάρχουν αρκετές ομοιότητες στις κατανομές πλάτους ταλάντωσης αλλά δεν είναι ικανές να τις καταστήσουν ίδιες. Εκ φύσεως δύο μεγάφωνα ίδιου μοντέλου έχουν μικροδιαφορές, που μπορεί να οφείλονται στα υλικά κατασκευής τους ή στο κατασκευαστικό μέρος (συναρμολόγηση από την εταιρία). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα tweeters να έχουν αρκετές διαφορές στις κατανομές πλάτους ταλάντωσης τους που όμως δεν είναι τέτοιες που να μπορούμε να χαρακτηρίσουμε κάποιο από αυτά για παράδειγμα καλύτερο. Μπορούμε όμως να πούμε ότι και τα τρία tweeters συμπεριφέρονται το ίδιο καλά παρουσιάζοντας καθαρές κατανομές πλάτους ταλάντωσης στο συχνοτικό εύρος λειτουργίας τους.

Πρέπει να αναφερθεί πως τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν στα πλαίσια της ακρίβειας που παρέχει η μέθοδος ESPI (ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων), και τους περιορισμούς σε αυτήν λόγω επίδρασης εξωγενών παραγόντων (π.χ. μικρομετατοπίσεις, συνθήκες λειτουργίας).

## **6.2 ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ TWEETER ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ (ΤΡΥΠΑΣ) ΣΤΟΝ ΚΩΝΟ**

Στο δεύτερο μέρος των πειραματικών αποτελεσμάτων παρουσιάζονται, οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του πρώτου tweeter μετά τη δημιουργία προβλήματος (τρύπας) στον κώνο και πιο συγκεκριμένα σε απόσταση 0.8cm από το

άκρο του. Τη δημιουργία προβλήματος-τρύπας την επιτύχαμε με μία καρφίτσα, και εν συνεχεία στο ίδιο σημείο μεγαλώσαμε τη διάμετρο της με μία άλλη καρφίτσα μεγαλύτερης διαμέτρου. Κατόπιν αυξήσαμε εκ νέου τη διάμετρο της τρύπας με ένα καρφί και τέλος μεγαλώσαμε για μια ακόμη φορά την τρύπα με ένα καρφί μεγαλύτερης διαμέτρου.

Οι διαμέτροι των αντικειμένων με τα οποία δημιουργήσαμε τα ανοίγματα αναφέρονται παρακάτω:

καρφίτσα μικρή : 0.57 mm

καρφίτσα μεγάλη : 0.71 mm

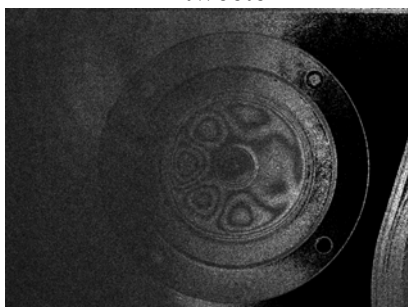
καρφί μικρό : 1.89 mm

καρφί μεγάλο : 2.70 mm

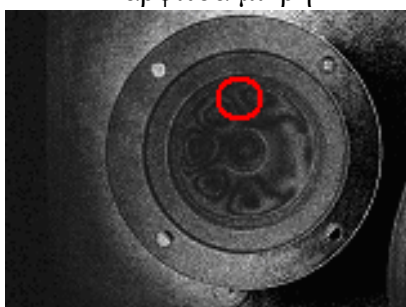
Μετά από την δημιουργία της τρύπας (εντοπίζεται μέσα στον κόκκινο κύκλο) και από κάθε επόμενη αύξηση της διαμέτρου της πραγματοποιήσαμε μετρήσεις στο συχνοτικό φάσμα από 2.5 kHz -24.5 kHz ανά 2 kHz. Οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης αυτές παρουσιάζονται παρακάτω σε κλίμακα 1 : 2,63.

Μέτρηση στα 2500 Hz

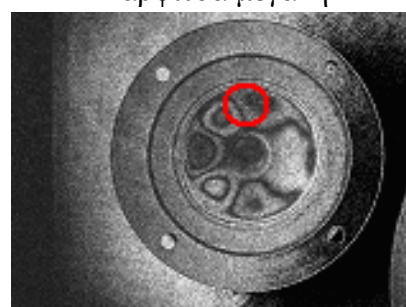
1<sup>ο</sup> tweeter



καρφίτσα μικρή



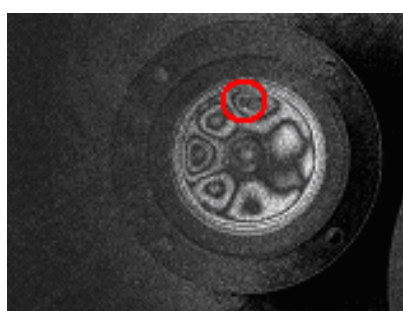
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό



καρφί μεγάλο



Μέτρηση στα 4500 Hz

1° tweeter



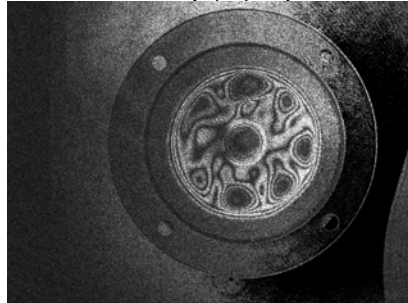
καρφίτσα μικρή



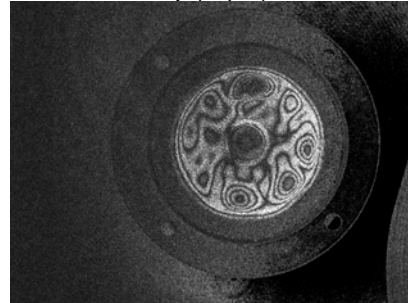
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό

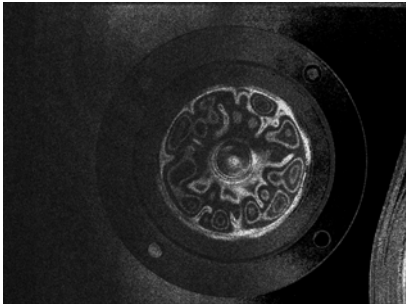


καρφί μεγάλο

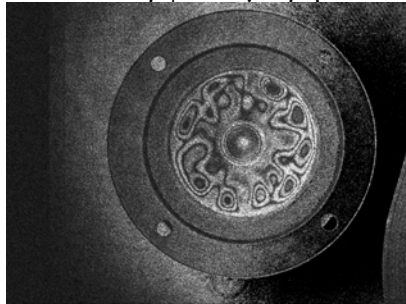


Μέτρηση στα 6500 Hz

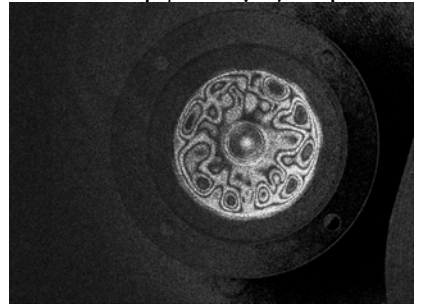
1° tweeter



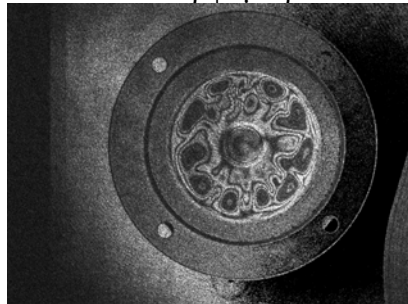
καρφίτσα μικρή



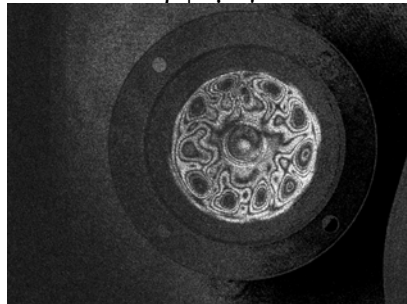
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό

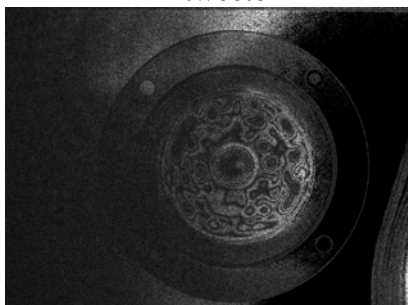


καρφί μεγάλο

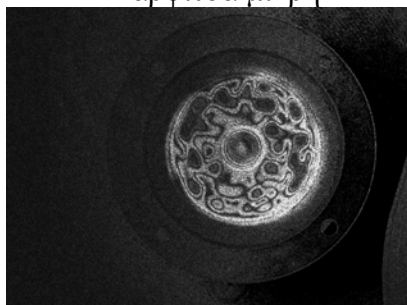


Μέτρηση στα 8500 Hz

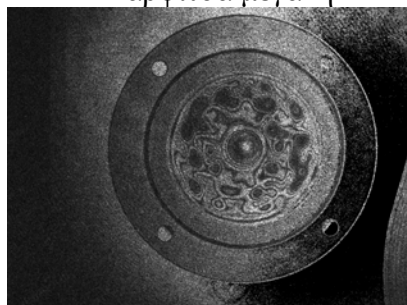
1<sup>ο</sup> tweeter



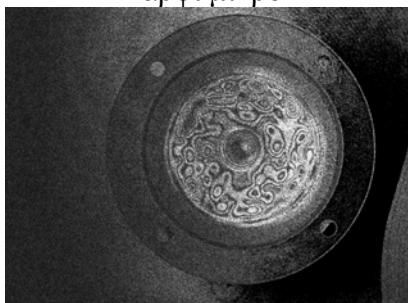
καρφίτσα μικρή



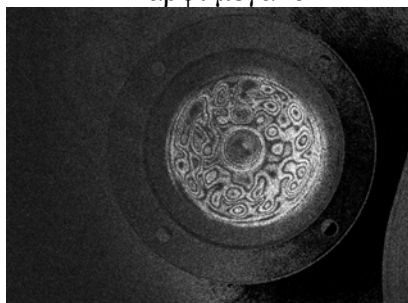
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό

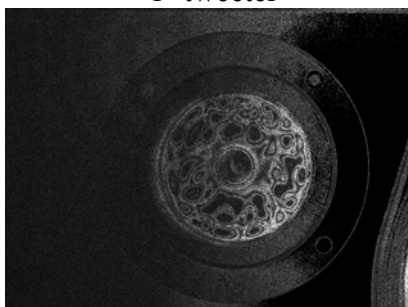


καρφί μεγάλο

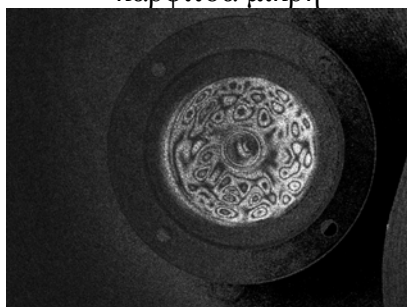


Μέτρηση στα 10500 Hz

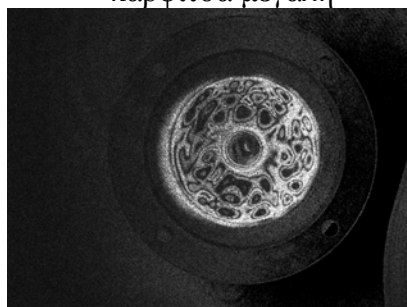
1<sup>ο</sup> tweeter



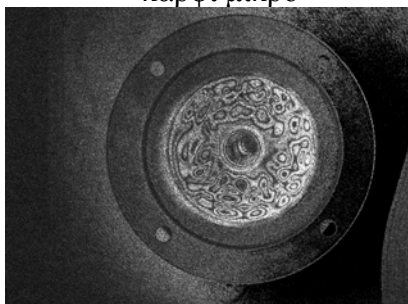
καρφίτσα μικρή



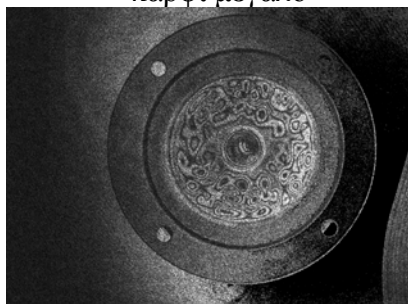
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό

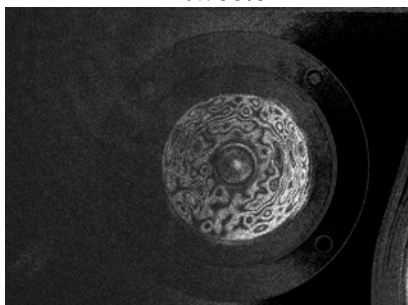


καρφί μεγάλο

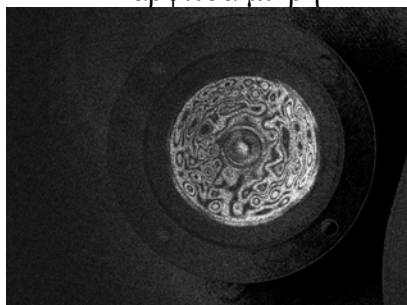


Μέτρηση στα 12500 Hz

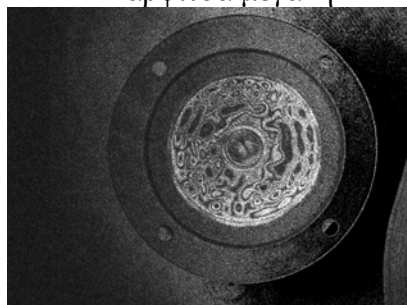
1° tweeter



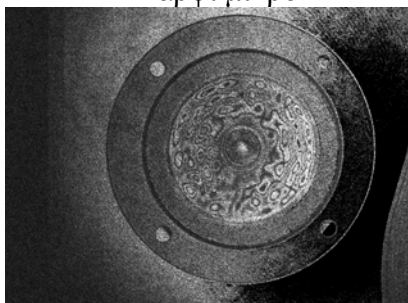
καρφίτσα μικρή



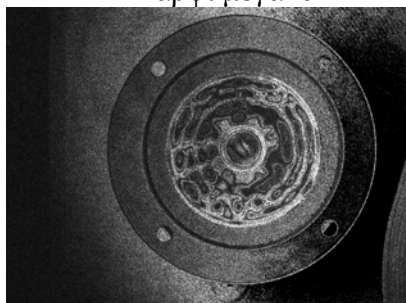
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό

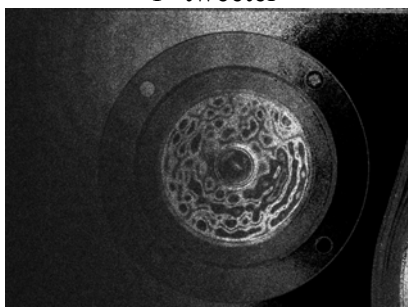


καρφί μεγάλο

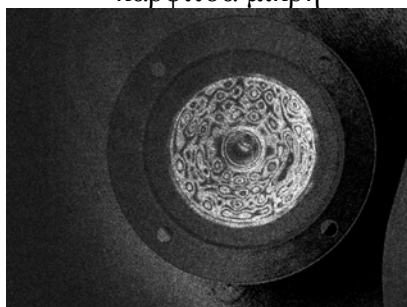


Μέτρηση στα 14500 Hz

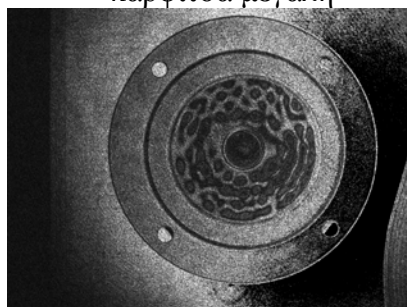
1° tweeter



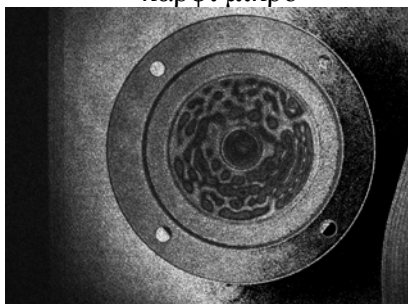
καρφίτσα μικρή



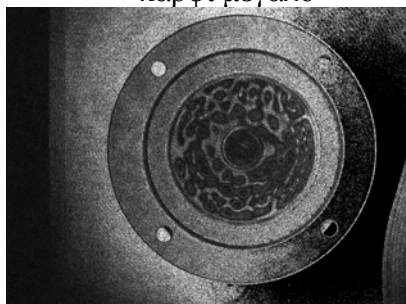
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό



καρφί μεγάλο

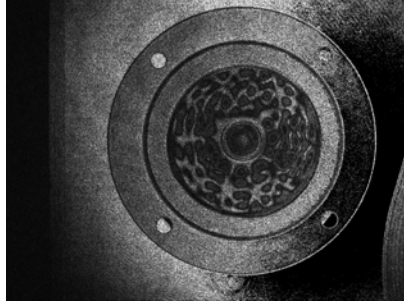


Μέτρηση στα 16500 Hz

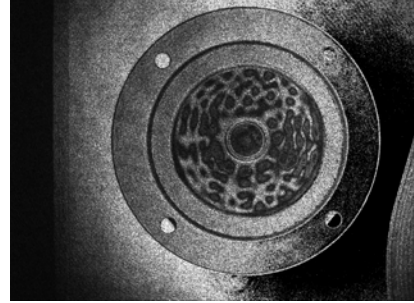
1<sup>ο</sup> tweeter



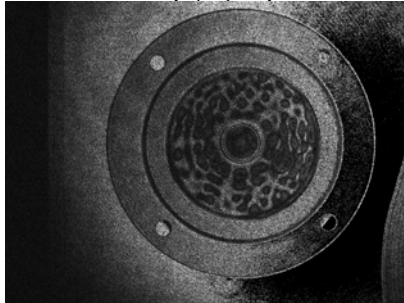
καρφίτσα μικρή



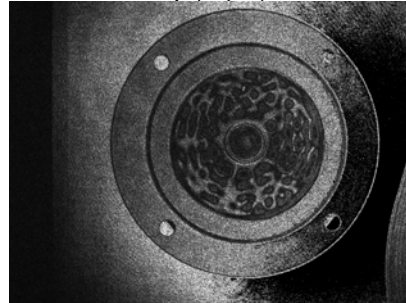
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό

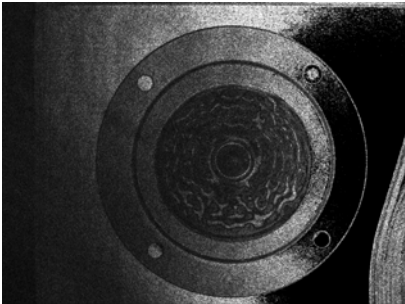


καρφί μεγάλο

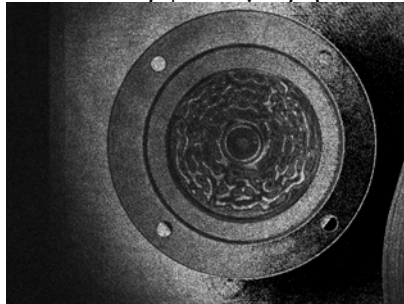


Μέτρηση στα 18500 Hz

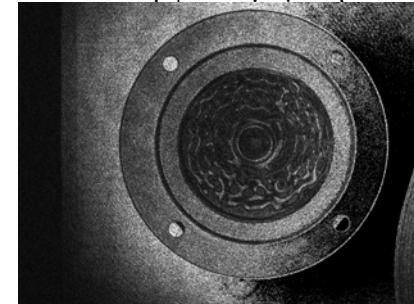
1<sup>ο</sup> tweeter



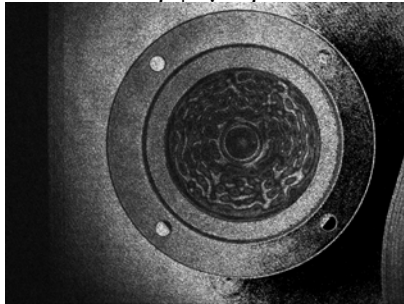
καρφίτσα μικρή



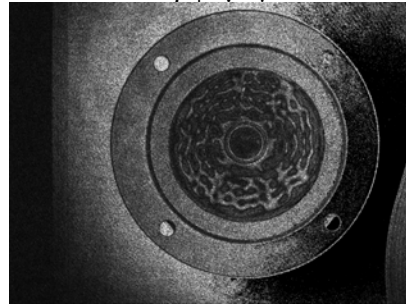
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό



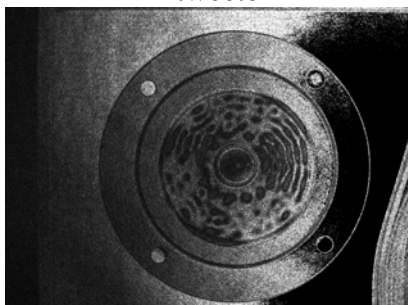
καρφί μεγάλο



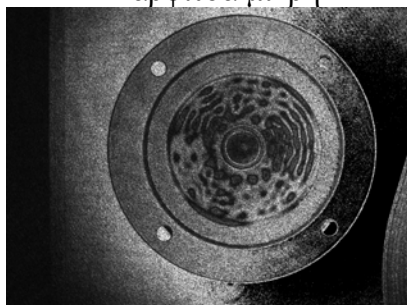


Μέτρηση στα 20500 Hz

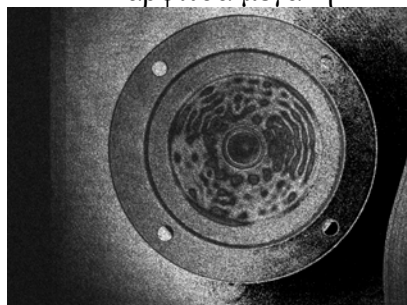
1<sup>ο</sup> tweeter



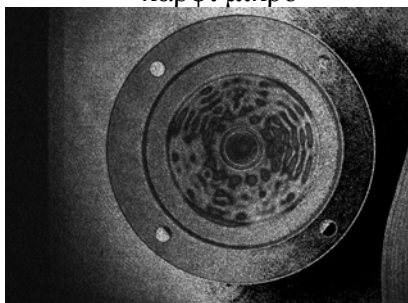
καρφίτσα μικρή



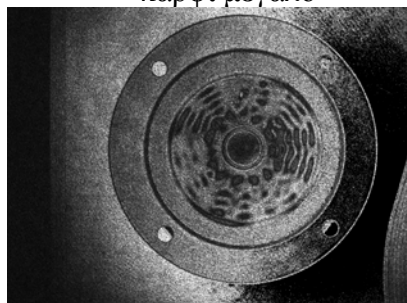
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό



καρφί μεγάλο



Μέτρηση στα 22500 Hz

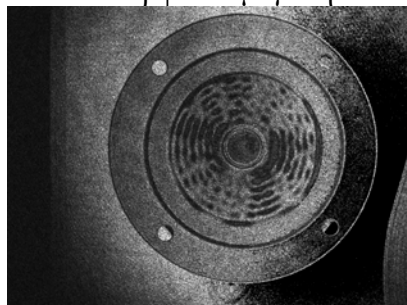
1<sup>ο</sup> tweeter



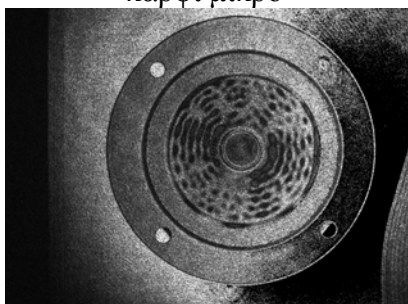
καρφίτσα μικρή



καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό

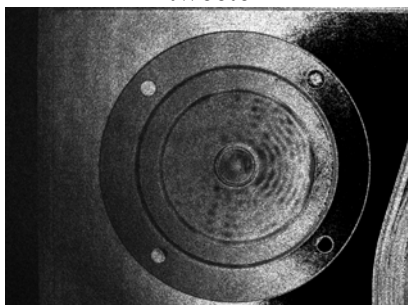


καρφί μεγάλο

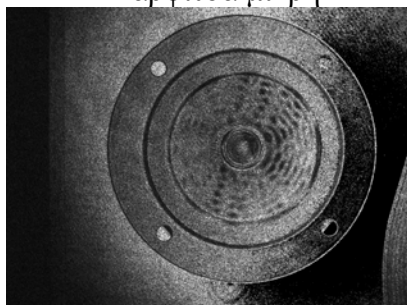


## Μέτρηση στα 24500 Hz

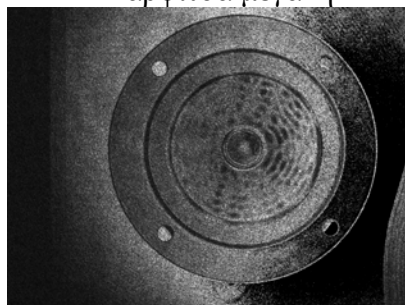
1<sup>ο</sup> tweeter



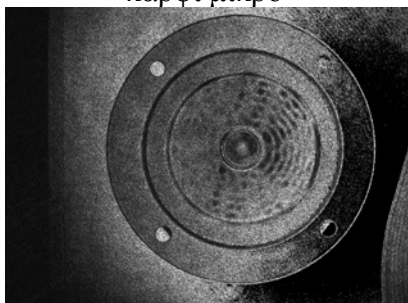
καρφίτσα μικρή



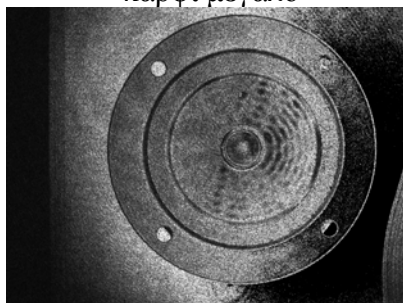
καρφίτσα μεγάλη



καρφί μικρό



καρφί μεγάλο



Ο λόγος που δημιουργήθηκε η τρύπα δεν ήταν διότι αναμενόταν η εμφάνιση της στις κατανομές πλάτους ταλάντωσης, αλλά η πιθανή παρατήρηση μιας ανακατάταξης των κροσσών συμβολής στην επιφάνεια του tweeter. Παρ' ότι θα περίμενε κανείς μετά τη δημιουργία του προβλήματος (τρύπας) στον κώνο να έβλεπε αλλαγές στις κατανομές πλάτους ταλάντωσης, παρατηρεί πως ο κώνος του tweeter δεν επηρεάζεται. Στην μικρή και μεγάλη καρφίτσα δε φαίνεται η παραμικρή διαφορά στις κατανομές πλάτους ταλάντωσης, ενώ δεν εντοπίζεται καν, η τρύπα που ανοίχθηκε. Στο μικρό και μεγάλο καρφί πάλι, παρατηρείται ίσα-ίσα η τρύπα που ανοίχθηκε χωρίς να επηρεάζει τους κροσσούς συμβολής στο ανάλογο σημείο. Αυτό ίσως να συμβαίνει διότι η φωτογραφική κάμερα δεν έχει την διακριτική ικανότητα να ανιχνεύσει τόσο μικρές μεταβολές στις δονήσεις του κώνου.

Πρέπει να αναφερθεί πως τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν στα πλαίσια της ακρίβειας που παρέχει η μέθοδος ESPI (ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφιδών), και τους περιορισμούς σε αυτήν λόγω επίδρασης εξωγενών παραγόντων (π.χ. μικρομετατοπίσεις, συνθήκες λειτουργίας).



### 6.3 ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΤWEEETER ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ (2<sup>ΗΣ</sup> ΤΡΥΠΑΣ) ΣΤΟΝ ΚΩΝΟ

Στο τρίτο μέρος των πειραματικών αποτελεσμάτων παρουσιάζονται, οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του πρώτου tweeter μετά τη δημιουργία δεύτερου προβλήματος (2<sup>ης</sup> τρύπας) στον κώνο, αφού δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά μετά την δημιουργία του πρώτου προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα η δεύτερη τρύπα δημιουργήθηκε σε απόσταση 0.8cm από την πρώτη τρύπα και 1.0cm από το κέντρο του θόλου του μεγαφώνου. Τη δημιουργία του νέου προβλήματος-τρύπας την προκαλέσαμε αρχικά με μία καρφίτσα, και εν συνεχεία στο ίδιο σημείο μεγαλώσαμε τη διάμετρο της τρύπας με ένα καρφί μεγαλύτερης διαμέτρου. Τέλος προκαλέσαμε ένα τρίτο πρόβλημα δημιουργώντας ένα τόξο παράλληλα με το θόλο σε απόσταση 1cm από το κέντρο του με μήκος 1.0 cm και πλάτος 2.0 mm.

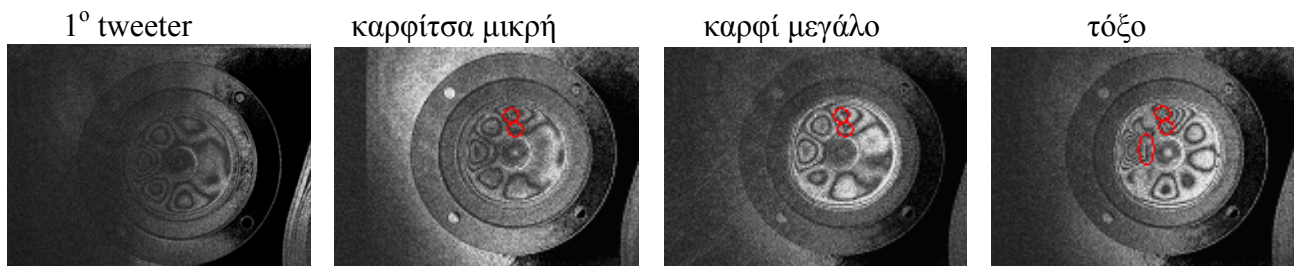
Οι διαμέτροι των αντικειμένων με τα οποία δημιουργήσαμε τα ανοίγματα αναφέρονται παρακάτω:

καρφίτσα μικρή : 0.57 mm

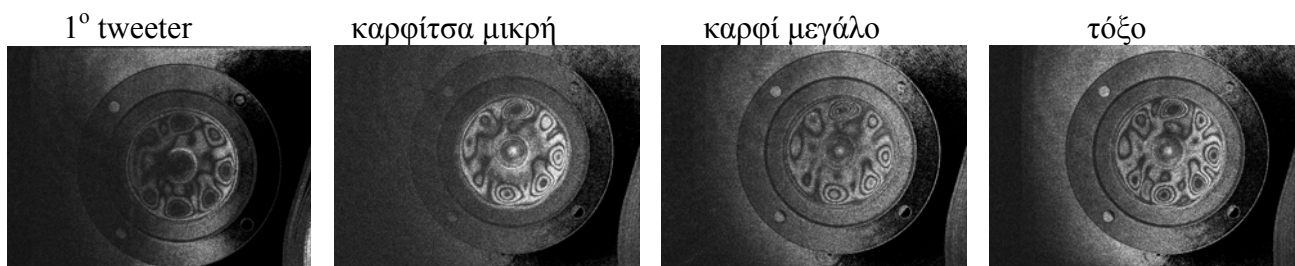
καρφί μεγάλο : 2.70 mm

Μετά από την δημιουργία της δεύτερης τρύπας (εντοπίζεται πάνω ακριβώς από τον θόλο) και του τόξου (εντοπίζεται αριστερά του θόλου) πραγματοποιήσαμε μετρήσεις στο συχνοτικό φάσμα από 2.5 kHz -24.5 kHz ανά 2 kHz όπως και στο προηγούμενο μέρος. Οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης αυτές παρουσιάζονται παρακάτω σε κλίμακα 1 : 3,40.

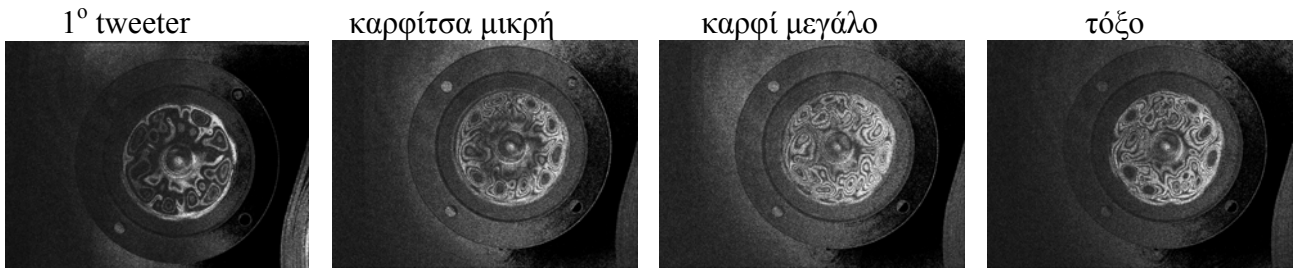
Μέτρηση στα 2500 Hz



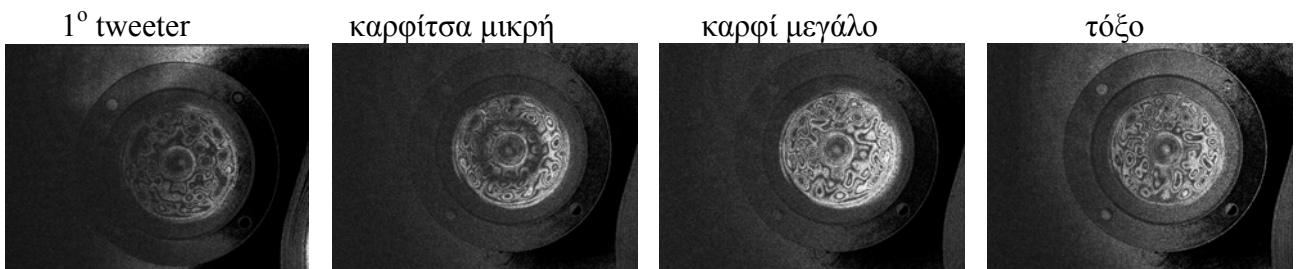
Μέτρηση στα 4500 Hz



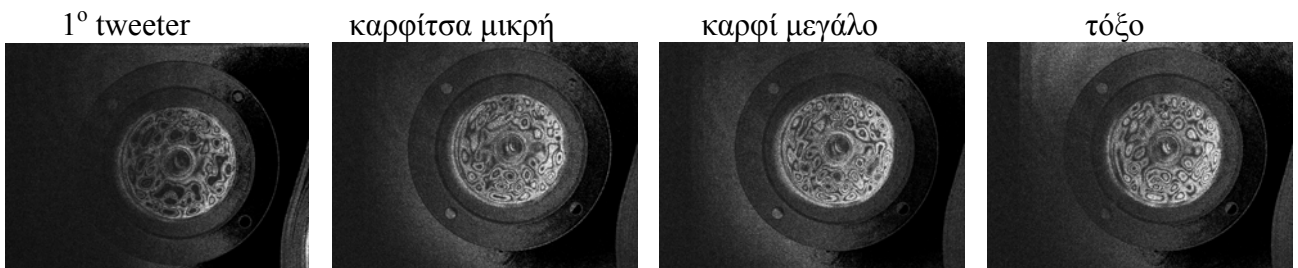
Μέτρηση στα 6500 Hz



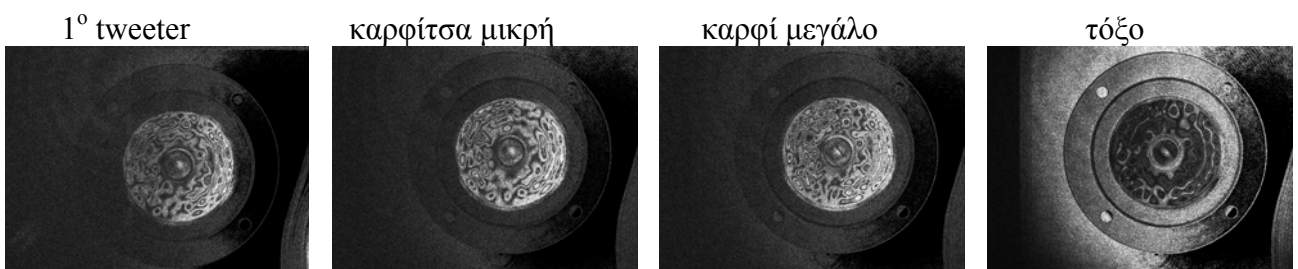
Μέτρηση στα 8500 Hz



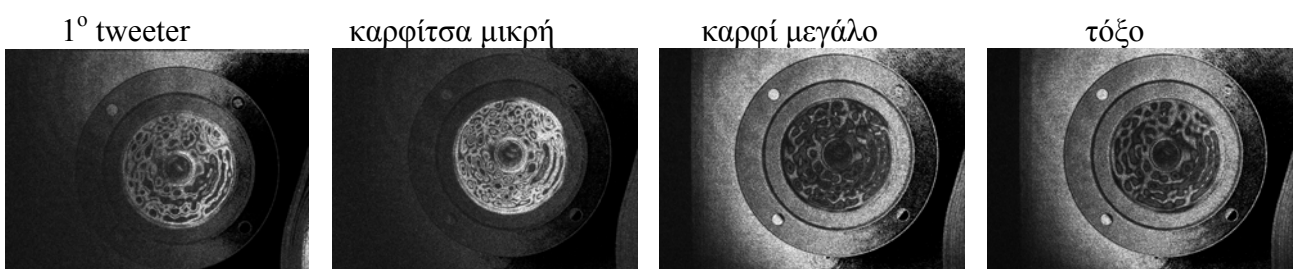
Μέτρηση στα 10500 Hz



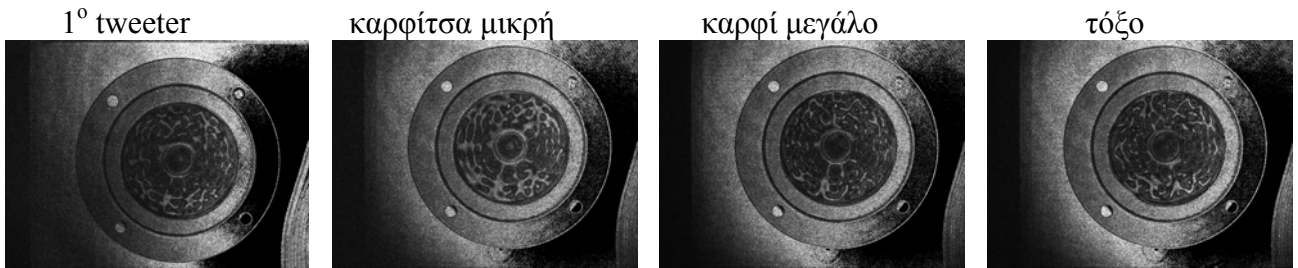
Μέτρηση στα 12500 Hz



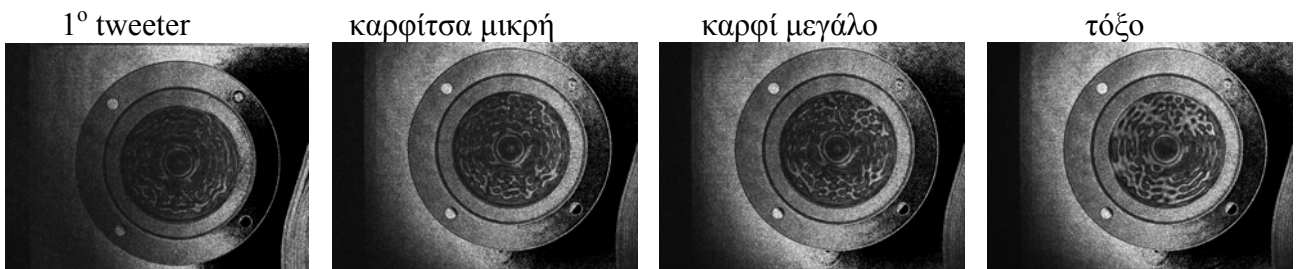
Μέτρηση στα 14500 Hz



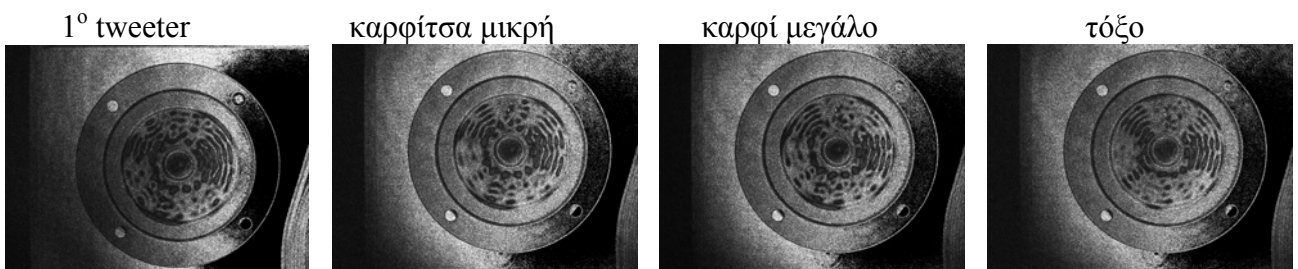
Μέτρηση στα 16500 Hz



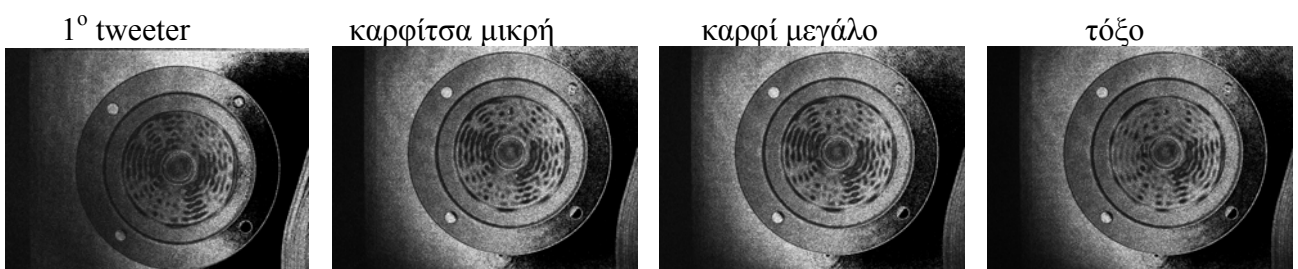
Μέτρηση στα 18500 Hz



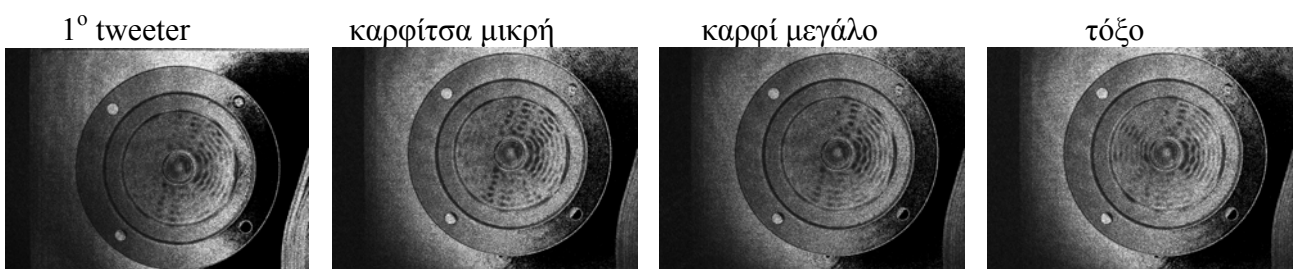
Μέτρηση στα 20500 Hz



Μέτρηση στα 22500 Hz



Μέτρηση στα 24500 Hz



Παρότι δημιουργήθηκε δεύτερο πρόβλημα (2<sup>η</sup> τρύπα) στον κώνο για να επηρεάσει περισσότερο τους κροσσούς συμβολής τα αποτελέσματα και εδώ είναι παρόμοια με της μετρήσεις που έγιναν για την πρώτη τρύπα με την μόνη διαφορά πως στις συγκεκριμένες μετρήσεις η τρύπα δεν είναι ορατή. Αυτό ίσως να συμβαίνει διότι η φωτογραφική κάμερα δεν έχει την διακριτική ικανότητα να ανιχνεύσει τόσο μικρές μεταβολές στις δονήσεις του κώνου. Παράλληλα, πραγματοποιείται η δημιουργία του τρίτου προβλήματος, τόξου, που φαίνεται πως επηρεάζει αν και ελάχιστα τους κροσσούς συμβολής του συγκεκριμένου σημείου.

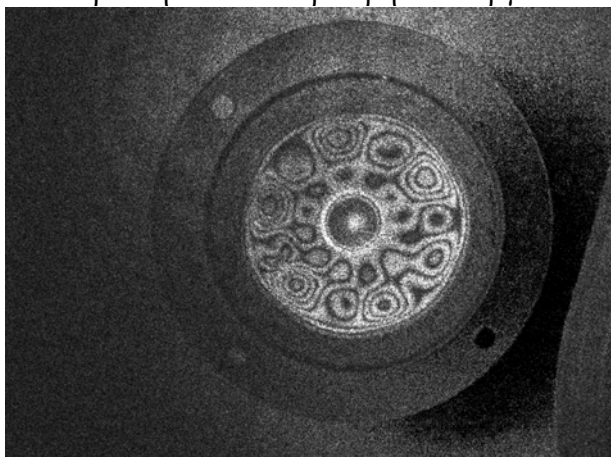
Πρέπει να αναφερθεί πως τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν στα πλαίσια της ακρίβειας που παρέχει η μέθοδος ESPI (ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων), και τους περιορισμούς σε αυτήν λόγω επίδρασης εξωγενών παραγόντων (π.χ. μικρομετατοπίσεις, συνθήκες λειτουργίας).

#### **6.4 ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΤΡΙΤΟΥ ΤWEEETER ΠΡΙΝ ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΙΚΟΣΙΤΕΤΡΑΩΡΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ**

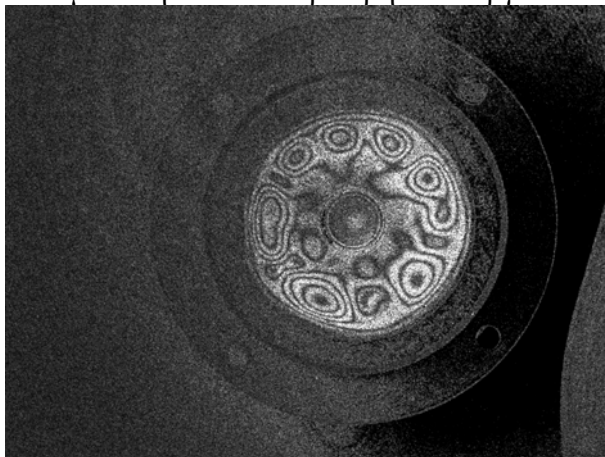
Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος των πειραματικών αποτελεσμάτων παρουσιάζονται, οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης του τρίτου tweeter πριν αλλά και μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία του. Στην μέτρηση που πραγματοποιήθηκε το tweeter λειτουργούσε για πρώτη φορά. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας των μετρήσεων, το tweeter λειτούργησε εικοσιτέσσερις συνεχόμενες ώρες κάνοντας sweep tone από το 1 kHz έως τα 27 kHz στη διάρκεια των 5.0 seconds και με πλάτος ταλάντωσης 1 Volt. Οι κατανομές πλάτους ταλάντωσης αυτές παρουσιάζονται παρακάτω σε κλίμακα 1 : 1,73

Μέτρηση στα 3500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία



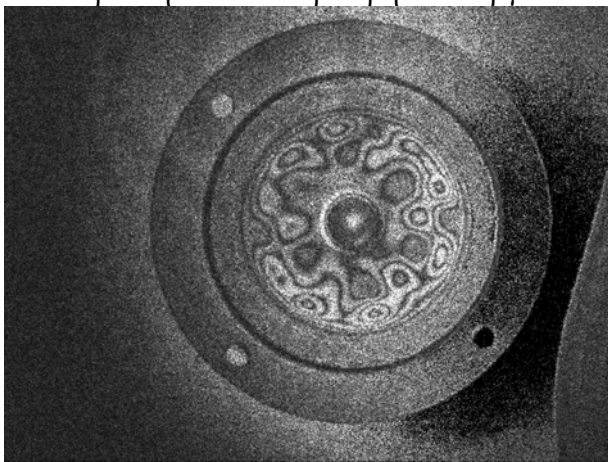
μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία



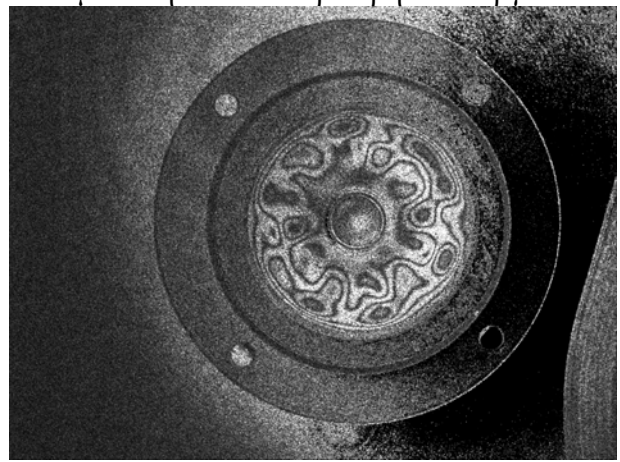


Μέτρηση στα 5500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

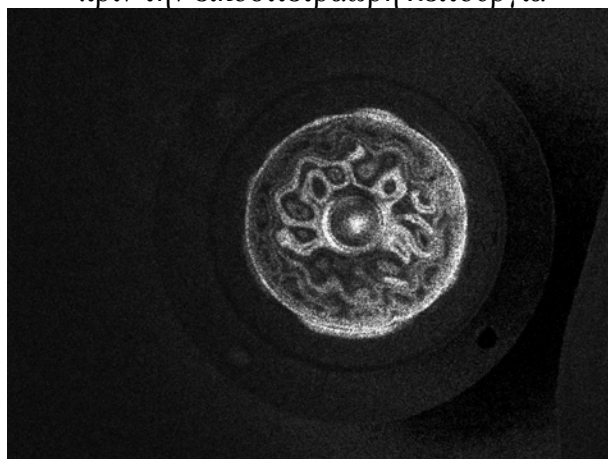


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

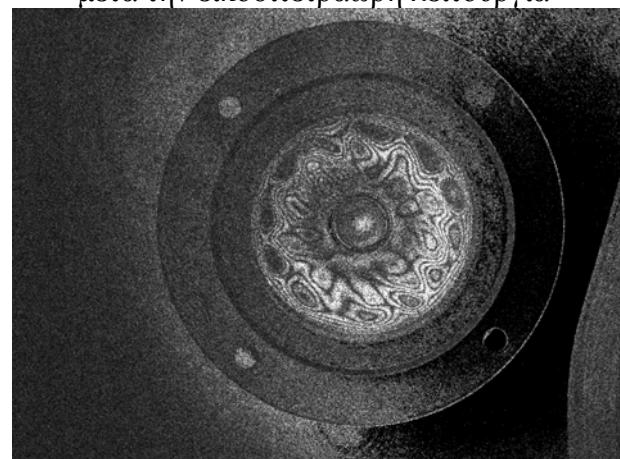


Μέτρηση στα 7500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

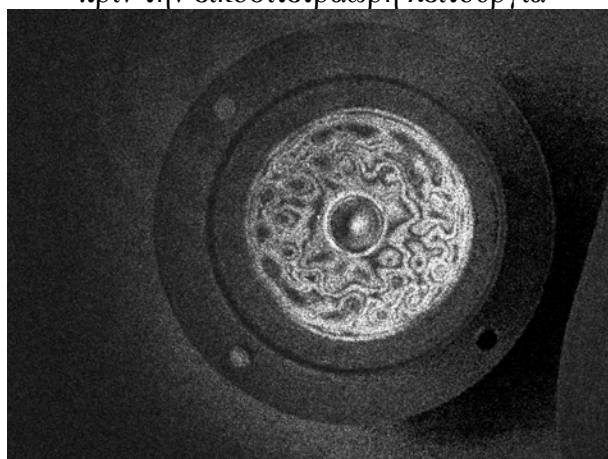


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

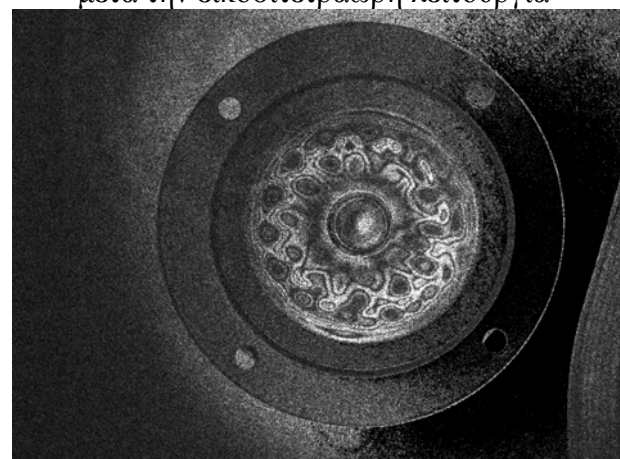


Μέτρηση στα 9500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

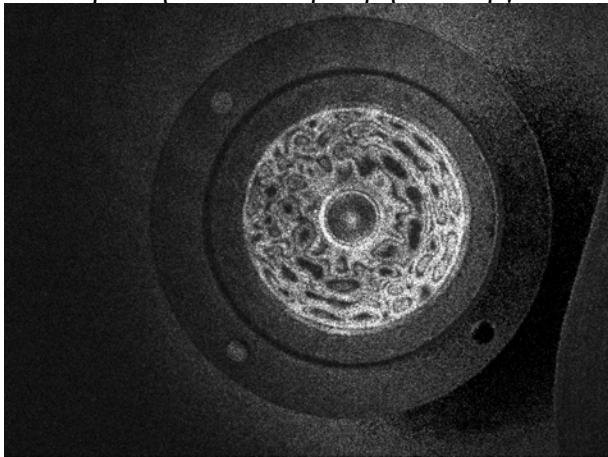


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

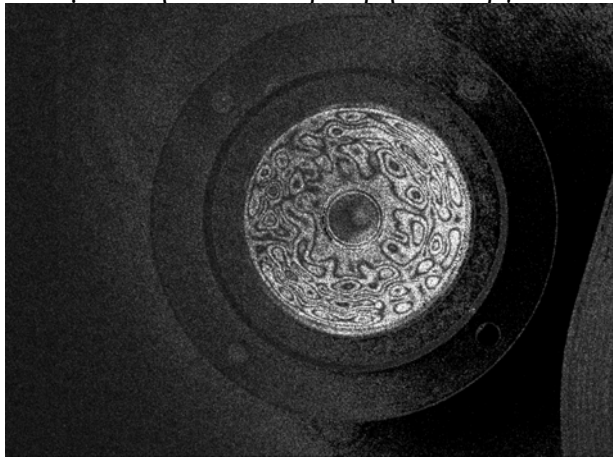


Μέτρηση στα 11500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

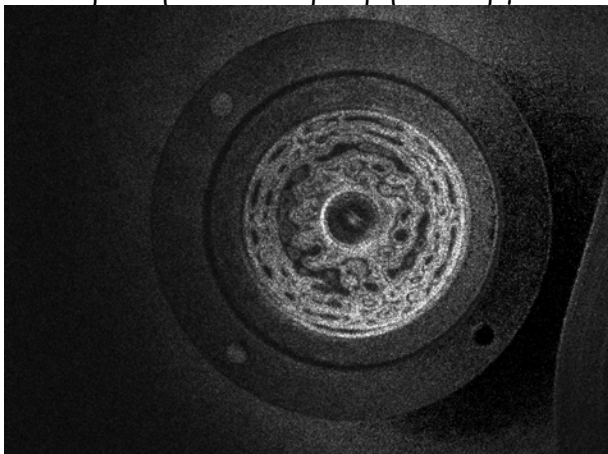


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

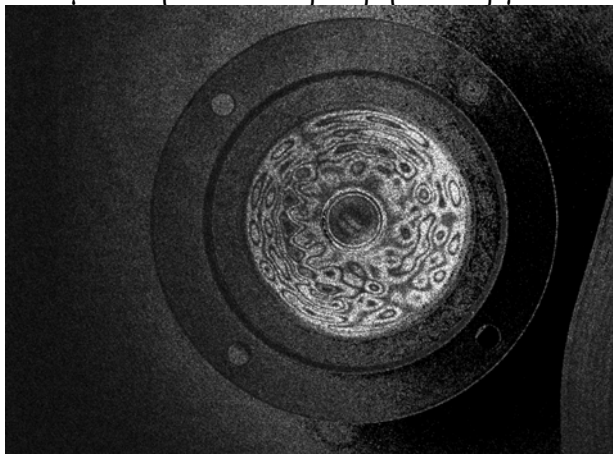


Μέτρηση στα 13500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

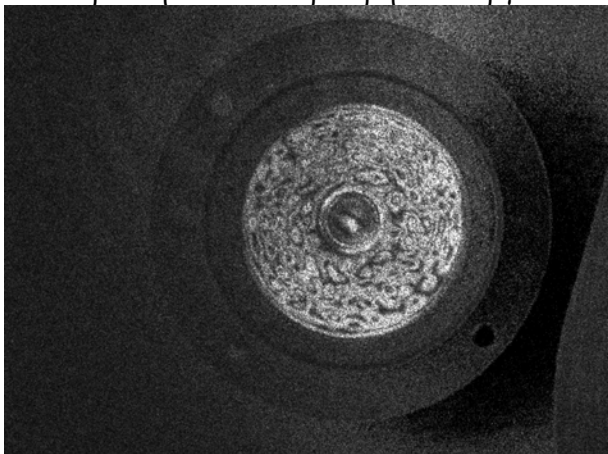


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

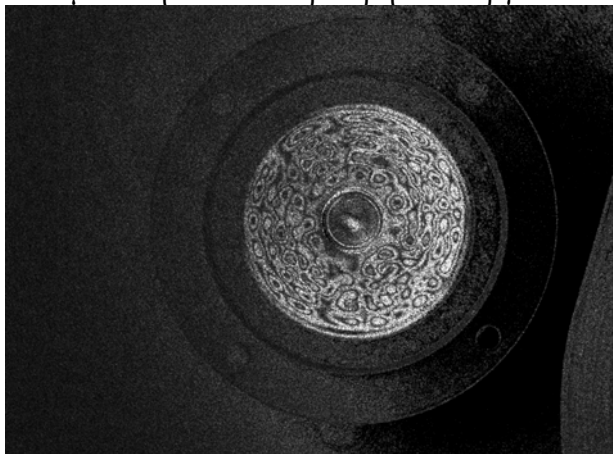


Μέτρηση στα 15500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

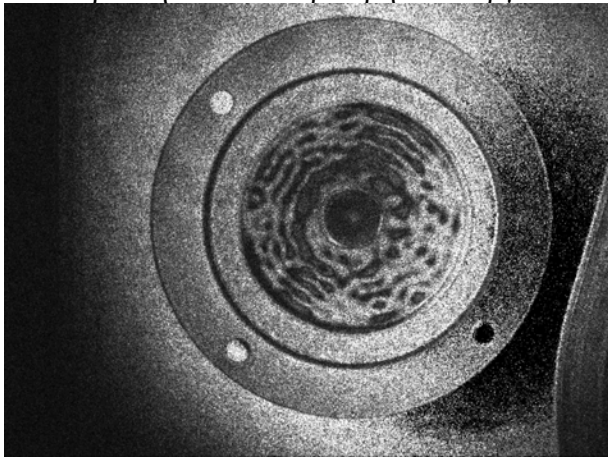


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

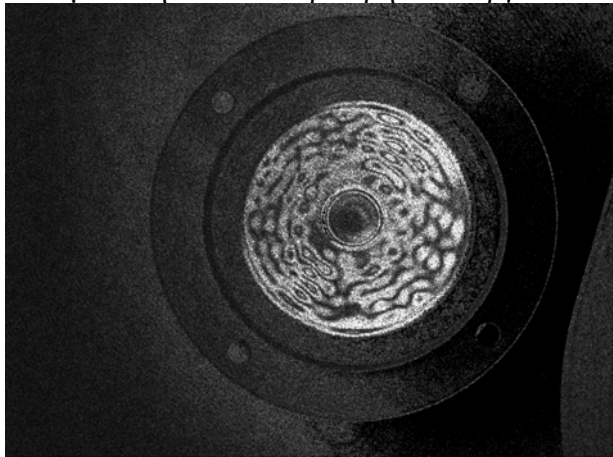


Μέτρηση στα 17500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

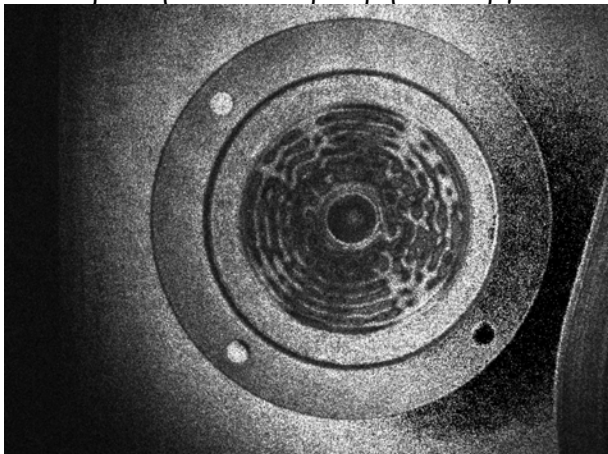


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

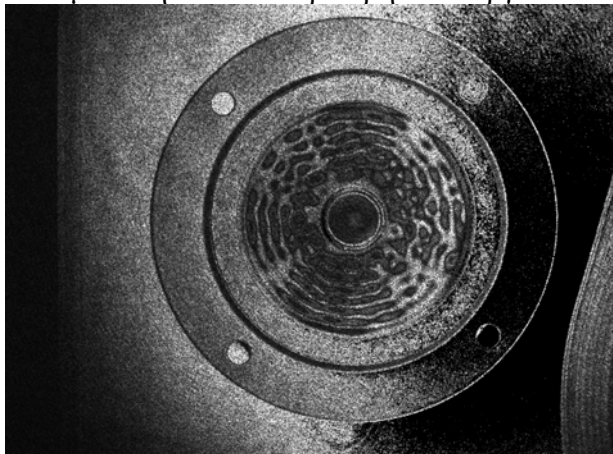


Μέτρηση στα 19500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

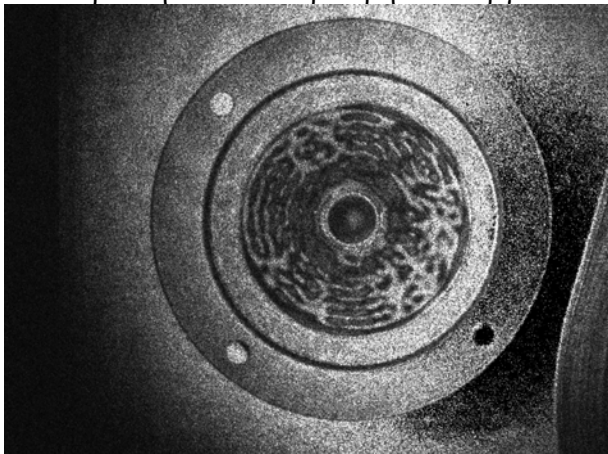


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

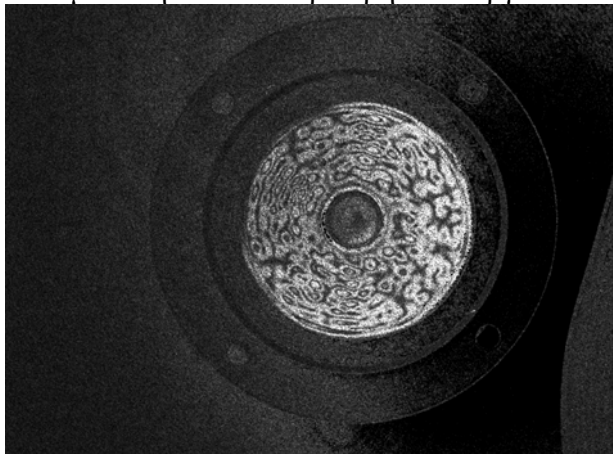


Μέτρηση στα 21500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

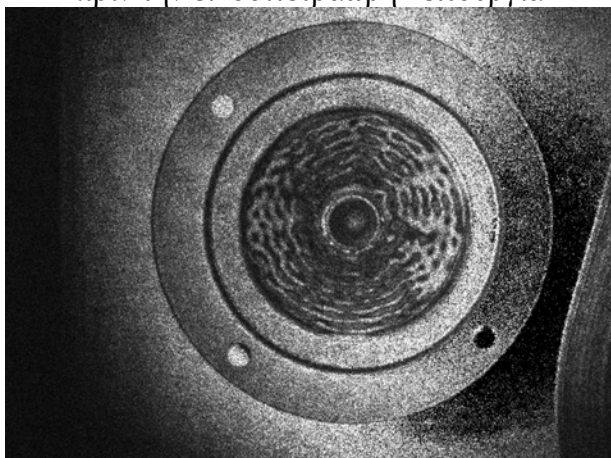


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

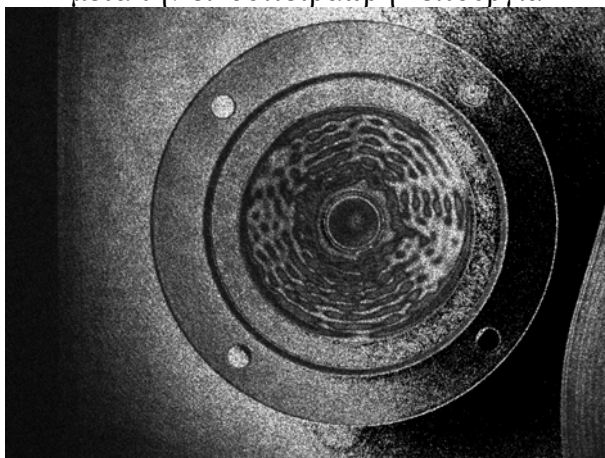


## Μέτρηση στα 23500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία

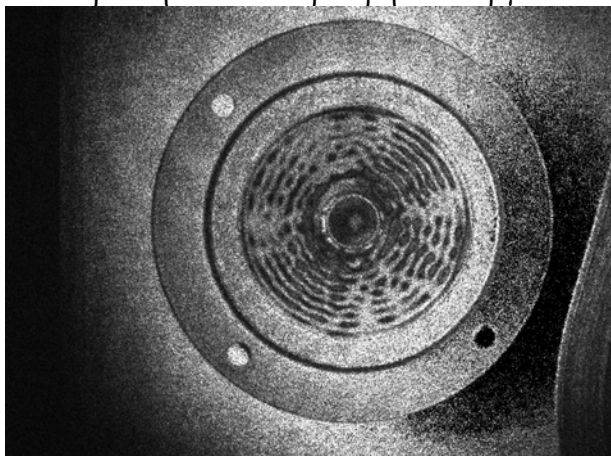


μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία

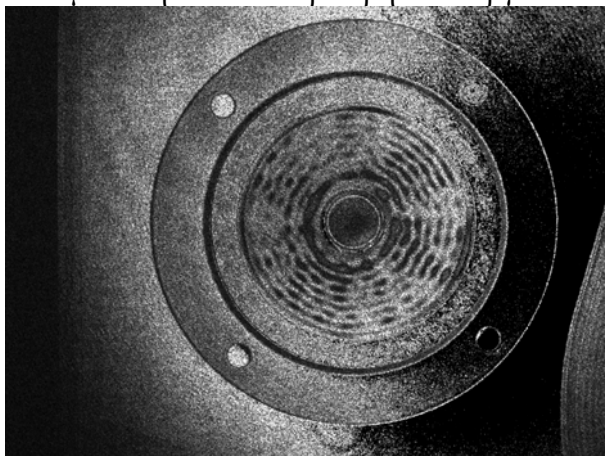


## Μέτρηση στα 25500 Hz

πριν την εικοσιτετράωρη λειτουργία



μετά την εικοσιτετράωρη λειτουργία



Γνωρίζοντας πως τα μεγάφωνα αποδίδουν καλύτερα ηχητικά ύστερα από κάποιες ώρες λειτουργίας πραγματοποιήθηκε η εικοσιτετράωρη λειτουργία του τρίτου μεγαφώνου για να παρατηρηθεί εάν όντως ισχύει. Παρατηρήθηκε πως το μεγάφωνο έχει πιο ευκρινής κατανομές πλάτους ταλάντωσης κάτι το οποίο επιβεβαιώνει αυτό που εξ' αρχής γνωρίζαμε ότι δηλαδή μετά από κάποιες ώρες λειτουργίας τα μεγάφωνα λειτουργούν καλύτερα. Αυτό πιθανά οφείλεται στο ότι ο κώνος αλλά και η ανάρτησή του απέκτησαν μεγαλύτερη ελαστικότητα.

Πρέπει να αναφερθεί πως τα παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν στα πλαίσια της ακρίβειας που παρέχει η μέθοδος ESPI (ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων), και τους περιορισμούς σε αυτήν λόγω επίδρασης εξωγενών παραγόντων (π.χ. μικρομετατοπίσεις, συνθήκες λειτουργίας).



## 7. ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Από την μελέτη που παρουσιάστηκε στη συγκεκριμένη εργασία, προκύπτουν θέματα που χρήζουν περαιτέρω έρευνας. Μερικά από αυτά είναι:

1. Το διάφραγμα μικρής διαμέτρου ανταποκρίνεται καλύτερα στις υψηλές συχνότητες διότι δίνει καλύτερη απόκριση στις απότομες μεταβολές των αναπαραγόμενων ήχων. Ωστόσο αυτά τα μικρής διαμέτρου διαφράγματα δεν λειτουργούν τόσο καλά στις χαμηλότερες συχνότητες. Θα ήταν σκόπιμο να αναζητηθούν tweeters με διάφορες διαμέτρους στο διάφραγμα και να μελετηθεί η σχετική τους ικανότητα να αναπαράγουν συχνότητες με την τεχνική ESPI.
2. Τα μεγάφωνα υψηλής συχνότητας τύπου θόλου παρουσιάζουν και αυτά προβλήματα παραμόρφωσης του σχήματος τους, ιδίως σε συχνότητες άνω των 8 KHz και γι' αυτό χρειάζεται πολύ προσεκτική μελέτη της κατασκευής τους για να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά. Μελλοντικά θα μπορούσαμε μέσω της οπτικής τεχνικής ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry - ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων) να διαπιστώσουμε την καταπόνηση ενός tweeter μετά από κάποιες ώρες λειτουργίας σε συχνότητες άνω των 8kHz και ίσως να βγάλουμε τη διάρκεια καλής λειτουργίας ενός τέτοιου μεγαφώνου σε αυτές τις «σκληρές» συχνότητες για αυτά τα ηχεία.
3. Ακόμα ένα θέμα μελέτης θα μπορούσε να είναι μέσω της οπτικής τεχνικής ESPI να βρούμε πότε ένα tweeter θα μας έδινε τα καλύτερα αποτελέσματα στις ιδιομορφές, δηλαδή μετά από πόσες ώρες ένα tweeter θα είχε 'στρωθεί' ώστε να αποκτήσει την απαιτούμενη ελαστικότητα ο κώνος και η ανάρτηση και να έχουμε τα καλύτερα δυνατά ηχητικά αποτελέσματα.
4. Επίσης αντικείμενο μελέτης θα μπορούσε να είναι η σύγκριση των ηλεκτροδυναμικών (cone) tweeters της συγκεκριμένης μελέτης με tweeters ίδιου τύπου άλλων εταιριών.
5. Ενδιαφέρων έρευνας θα παρουσίαζε επανάληψη της συγκεκριμένης μέτρησης με αντικατάσταση του tweeter με άλλου τύπου μεγαφώνου όπως midrange ή subwoofer.
6. Τέλος ενδιαφέρον θα παρουσίαζε όλες αυτές οι ιδιομορφές να ηχογραφηθούν ώστε να πραγματοποιηθεί σύγκριση με το πόσο καλά ανταποκρίνονται ακουστικά αλλά και φασματικά.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Dave Berriman, *Μεγάφωνα και ηχεία hi – fi, απλή θεωρία και πρακτική*, Εκδόσεις Π. Γαλούτσι (1982).
- K. Biedermann and L. Ek, *A recording and display system for hologram interferometry with low resolution imaging devices*, J. Phys. E: Scientific Instruments **8**, (1975).
- J.N. Butters and J.A. Leendertz, *Holographic and video techniques applied to engineering measurement*, Journal of Measurement and Control **4**, (1971).
- Gary Davis, Ralph Jones, *The Sound Reinforcement Handbook*, Copyright 1987, 1989 by Yamaha Corporation of America and Gary Davis & Associates.
- John M. Eargle, *Μουσική ακουστική τεχνολογία*, Εκδ: Ιων (1999).
- D. Gabor, *A new microscopic principle*, Nature **161**, (1948).
- M. D. Hill, C. Eng., A.M.I.E.R.E., *Building Hi-Fi Speaker Systems*, N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken Eindhoven – The Netherlands (1980).
- K. Høgmoen and O.J. Løkberg, *Detection and measurement of small vibrations using electronic speckle pattern interferometry*, Appl. Opt. **16**, (1977).
- C-H. Huang and C-C. Ma, *Experimental and numerical investigations of resonant vibration characteristics for piezoceramic plates*, J. Acoust. Soc. Am. **109**, (2001).
- R. Jones and C. Wykes, *Holographic and speckle interferometry*, Cambridge University Press, Cambridge (1989).
- Gordon J King, *Συστήματα hi – fi, εγκατάσταση και αρχή λειτουργίας*, Εκδόσεις Π. Γαλούτσι (1982).
- J.A. Leendertz, *Interferometric displacement measurement on scattering surfaces utilizing speckle effect*, J. Phys. E: Scientific Instruments **3**, (1970).
- O.J. Løkberg and K. Høgmoen, *Vibration phase mapping using electronic speckle pattern interferometry*, Appl. Opt. **15**, (1976).
- P. Meinschmidt, K.D. Hinsch and R.S. Sirohi (Eds.), *Selected papers on electronic speckle pattern interferometry*, SPIE MS132, SPIE, Bellingham (1996).
- N.E. Molin, *Applications of whole field interferometry in mechanics and acoustics*, Opt. Lasers Eng. **31**, (1999).

- Α. Πετρίδης, ‘‘Ηλεκτροακουστική’’ Εκδ: «Ο Επιστήμων» Ιπποκράτους 15, Αθήνα (1974)
- P.K. Rastogi (Ed.), *Digital speckle pattern interferometry and related techniques*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester (2001).
- E.R. Robertson and J.M. Harvey (Eds.), *The engineering uses of holography*, Proceedings of the Symposium, University of Strathclyde, Cambridge University Press, Cambridge (1970).