

Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



Πτυχιακή εργασία

με τίτλο:

«Οικονομοτεχνική μελέτη γραμμής κατασκευής
τυπωμένων κυκλωμάτων και ηλεκτρονικών προϊόντων»

Σπουδαστής

Μούλιας Θωμάς

Εισηγητής καθηγητής

Αντωνιδάκης Εμμανουήλ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
Τυπωμένα κυκλώματα	2
Σχέδιο	4
Πληροφορίες κατασκευής (τεχνολογία του 21 ^{ου} αιώνα).....	6
ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	8
ΕΛΕΓΧΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ REFLOW ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	11
ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ SMD (FLIP CHIPS / CSPs)	27
Υλικά Flip Chip.....	27
ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΥΛΙΚΑ BGAs	31
Τύποι υλικών	33
Γενικά σχόλια για υλικά τύπου BGA.....	37
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΕ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ FLUX	45
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ	48
ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ INTRACOM A.E	56
Πρώτες ύλες.....	56
Dry Film	57
Πρεσάρισμα	58
Μηχανή κοπής και διάτρησης	60
Χημικός καθαρισμός οπών	63
Blackhol	64
Μηχανή επιχάλκωσης και επικασσιτέρωσης.....	65
Αποχάλκωση, αποκασιτέρωση και αφαίρεση Dry Film	67
Μηχανή εκτύπωσης solder mask και τοπογραφικών υλικών	68
Ηλεκτρικός έλεγχος	69
Μηχανές αυτόματης τοποθέτησης συμβατικών υλικών.....	70
Χειρονακτική τοποθέτηση εξαρτημάτων.....	73
Wave Soldering Machine (Μηχανή κυματικής συγκόλλησης)	74
Οπτικός έλεγχος και συγκόλληση υλικών με το χέρι	77
Zevac	78
Έλεγχος ηλεκτρονικών προϊόντων χρησιμοποιώντας τεχνολογία X-ray	80
Πλυντήριο	83
Θερμοκρασιακοί θάλαμοι	84
Testing	85
Επιπλέον προστασία καρτών	86
Standard	86
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ	87

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τυπωμένα κυκλώματα

Το απλούστερο PCB (τυπωμένο κύκλωμα) είναι ένα φύλλο χαλκού κολλημένο σε ένα φύλλο πλαστικού που συχνά είναι μια εποξική κόλλα που ενισχύεται με φίμπεργκλας (fiberglass). Το επιπλέον φύλλο χαλκού αφαιρείται, συνήθως με τη μέθοδο της χημικής χαρακτηριστικής και τα εξαρτήματα συνδέονται με τον υπόλοιπο χαλκό συνήθως με τη συγκόλληση.

Ο εφευρέτης του τυπωμένου κυκλώματος ήταν πιθανώς ο Αυστριακός μηχανικός Paul Eisler (1907 - 1995) που εργαζόμενος στην Αγγλία, κατασκεύασε το πρώτο, το 1936 ως τμήμα ενός ραδιοφώνου. Περίπου το 1943 οι Αμερικανοί άρχισαν να χρησιμοποιούν την τεχνολογία σε μεγάλη κλίμακα για να κατασκευάσουν ενισχυτές που χρησιμοποιήσαν στον Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο (rugged radios). Μετά από τον πόλεμο, το 1948, οι Η.Π.Α. απελευθέρωσαν την εφεύρεση για εμπορική χρήση. Τα τυπωμένα κυκλώματα δεν έγιναν κοινά στα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '50.

Πριν από τα τυπωμένα κυκλώματα, χρησιμοποιήθηκε η κατασκευή από σημείο σε σημείο. Για τα πρωτότυπα ή για μικρής παραγωγής κατασκευές, τα καλώδια μπορεί να είναι αποδοτικά.

Αρχικά, κάθε εξάρτημα συνδέονταν στην πλακέτα με καλώδια, για καθένα από αυτά γινόταν μια τρύπα στο PCB με τρυπάνι και συγκολλούνταν. Αυτή η μέθοδος καλείται *through hole* κατασκευή. Αυτό θα μπορούσε να γίνει αυτόματα από μια μηχανή κυματικής συγκόλλησης, περνώντας την πλακέτα πάνω από ένα κύμα αγωγίμης κόλλησης (καλάι). Η κατασκευή με τη μέθοδο *through hole* είναι ακόμα χρήσιμη στην ένωση των μεγάλων και βαριών εξαρτημάτων με την πλακέτα.

Ωστόσο, τα καλώδια και οι τρύπες κοστίζουν γιατί είναι δαπανηρό για το τρύπημα της πλακέτας και τα καλώδια είναι εκτεθειμένα στη φθορά του χρόνου.

Στη δεκαετία του '60, εφευρέθηκε μια τεχνική αποκαλούμενη *surface mount* που όμως έγινε ευρέως χρησιμοποιημένη προς το τέλος η δεκαετία του '80. Τα εξαρτήματα ξανασχεδιάστηκαν μηχανικά για να έχουν μικρούς μεταλλικούς ακροδέκτες που θα μπορούσαν να συγκολληθούν άμεσα στην επιφάνεια των PCB και καλούνται SMD. Συχνά, μόνο η αγώγιμη κόλληση κρατά το εξάρτημα στην πλακέτα. Έτσι τα SMD εξαρτήματα γίνονται συνήθως όσο το δυνατόν μικρότερα και πιο ελαφριά.

Συχνά μια αυτοματοποιημένη μηχανή αφαιρεί τα εξαρτήματα από ειδικές μπομπίνες και τα κολλά στο PCB. Ένα στρώμα που αποτελείται από κόλληση και κόλλα κρατά τα εξαρτήματα κολλημένα στην πλακέτα.

Η πλακέτα προθερμαίνεται, περνώντας μέσα από φούρνο που περιέχει υπέρυθρους λαμπτήρες, η θερμότητα των οποίων λειώνει την ύλη συγκολλησεως. Στη συνέχεια η πλακέτα κρυώνει ελεγχόμενα. Η προθέρμανση και η ελεγχόμενη ψύξη αποτρέπουν τα εξαρτήματα από το ράγισμα όταν μια άκρη του μέρους είναι κρύα και μια άλλη είναι καυτή από την κόλληση.

Τα εξαρτήματα σχεδιάζονται έτσι ώστε οι άκρες να συμπίπτουν με τα σημεία κόλλησης στην πλακέτα (*pads*).

Το αποτέλεσμα ήταν εξαρτήματα που ήταν ελαφρότερα και μικρότερα κατά το ένα τέταρτο με ένα δέκατο και μισό με ένα τέταρτο φθηνότερα του κόστους κατασκευής με καλώδια.

Σχέδιο

Συνήθως ένας ηλεκτρονικός μηχανικός σχεδιάζει το κύκλωμα, και ένας τεχνικός σχεδιάζει το σχέδιο PCB που είναι μια εξειδικευμένη ικανότητα. Υπάρχουν πολυάριθμα τεχνάσματα και πρότυπα που χρησιμοποιούνται για να σχεδιάσουν ένα PCB ώστε να είναι μικρό και φτηνό στην κατασκευή.

Κάποια PCB για χρήση υψηλής συχνότητας RF χρησιμοποιούν μονωτικά υλικά με τα ειδικά χαρακτηριστικά που αποτρέπουν τις παρεμβολές. Τα PCB στο κενό ή σε διαστημικό σκάφος έχουν συμπαγής πυρήνες χαλκού ή αργιλίου ως σύστημα ψύξης.

Το πλάτος και η απόσταση των αγωγών σε ένα PCB είναι πολύ σημαντικά. Εάν οι αγωγοί είναι πάρα πολύ στενοί, υπάρχει το πρόβλημα του βραχυκυκλώματος και το PCB είναι δύσκολο να επισκευαστεί. Εάν δε είναι πάρα πολύ μακριά, το PCB είναι πάρα πολύ μεγάλο και ακριβό.

Όσο περισσότερο χαλκό αφαιρούμε από την πλακέτα αυξάνουμε τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Επίσης, ένα PCB τυπώνεται ακριβέστερα εάν όλες οι περιοχές της πλακέτας έχουν την ίδια μέση αναλογία χαλκού.

Τα περισσότερα PCB έχουν κολλημένα μεταξύ τους ένα μέχρι δεκαέξι στρώματα τυπωμένου κυκλώματος (πολυστρωματικά PCB). Σε πιο σύνθετα PCB, δύο ή περισσότερα από τα στρώματα αφιερώνονται στην τροφοδοσία και τη γείωση. Τα στρώματα αυτά απομονώνουν το κύκλωμα από παρεμβολές και παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια. Τα πολυστρωματικά PCB απαιτούνται για τα σύνθετα ψηφιακά κυκλώματα.

Τα στρώματα της γείωσης και τροφοδοσίας είναι ορθογώνια αγωγήμα φύλλα που καταλαμβάνουν ολόκληρα τα στρώματα. Διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια και τη θερμότητα καλύτερα από τους απλούς αγωγούς. Εξειδικευμένα συστήματα ψύξης τοποθετούνται στην πλακέτα για την απαγωγή της θερμότητας.

Τα πολυστρωματικά PCB έχουν σημάδια και τρύπες για να ευθυγραμμίσουν τα στρώματα και να επιτρέψουν τη χρήση αυτόματης μηχανής τοποθέτησης και συγκόλλησης.

Τα στρώματα μπορούν να συνδεθούν μέσω των τρυπημένων με τρυπάνι τρυπών αποκαλούμενων *vias*. Είτε οι τρύπες επιμεταλλώνονται με ηλεκτρόλυση ή παρεμβάλλονται μικροί μεταλλικοί σύνδεσμοι. Υψηλής πυκνότητας PCB μπορεί να έχουν τυφλά *vias*, που είναι ορατά μόνο σε μια επιφάνεια, ή τα θαμμένα τα οποία δεν είναι ορατά, αλλά αυτά είναι ακριβώς να κατασκευαστούν και δύσκολο ή αδύνατο να επιθεωρηθούν μετά από την κατασκευή.

Οι καλοί σχεδιαστές ελαχιστοποιούν τον αριθμό *vias* για να μειώσουν το κόστος του τρυπήματος. Σε παλαιότερα PCB δυο στρωμάτων, ήταν κοινό να συγκολληθεί ένα καλώδιο μέσω της τρύπας.

Οι τρύπες γίνονται με μικρό τρυπάνι καρβιδίου ή από λέιζερ. Η διάτρηση εκτελείται από τις μηχανές διατρήσεων με την αυτοματοποιημένη τοποθέτηση χρησιμοποιώντας μια συστοιχία τρυπανιών ή αρχείο τρυπανιών. Ένα αρχείο τρυπανιών είναι ένα αρχείο υπολογιστή που περιγράφει τη θέση και τα μεγέθη όλων των τρυπών. Αυτά τα αρχεία καλούνται επίσης αριθμητικά ελεγχόμενα αρχεία τρυπανιών (NCD).

Η μάσκα συγκολλήσεως (*solder mask*), είναι ένα πλαστικό στρώμα το οποίο δεν διαβρέχεται από την ύλη συγκολλήσεως και αποτρέπει τις νησίδες συγκόλλησης να βραχυκυκλώσουν. Επίσης προστατεύει τα εξωτερικά επίπεδα από το γδάρισμα και τη διάβρωση.

Μια μεταξωτυπία στο πάνω ή στο κάτω μέρος της πλακέτας παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των εξαρτημάτων, την ακριβή θέση τους κλπ και βοηθάει στην κατασκευή και την επισκευή της πλακέτας.

Τα PCB που προορίζονται για ακραία περιβάλλοντα έχουν συχνά μια ομοιόμορφη επικάλυψη, η οποία εφαρμόζεται με βύθιση ή ψεκασμό. Η επικάλυψη αποτρέπει τη διάβρωση και το βραχυκύκλωμα λόγω συμπίκνωσης. Οι πρώτες επικαλύψεις ήταν από κερί. Οι σύγχρονες επικαλύψεις είναι συνήθως αραιά διαλύματα σιλικόνης ή εποξικών.

Η μαζική παραγωγή PCB έχει *pad* για τον αυτοματοποιημένο έλεγχο που γίνεται με τη χρήση προσωρινών συνδέσεων. Μερικές φορές αυτά, πρέπει να απομονωθούν με τη χρήση αντιστάσεων.

Πληροφορίες κατασκευής (τεχνολογία του 21^{ου} αιώνα)

Η διάτρηση με λέιζερ είναι μια νέα μέθοδος για την αφαίρεση υλικού από την πλακέτα. Χαρακτηριστικά χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει πολύ μικρές τρύπες ή να δημιουργήσει ακριβείς διαδρομές. Μερικοί έχουν προτείνει ότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αφαιρέσει το χαλκό, δημιουργώντας αγωγούς ακριβέστερα από τη χημική μέθοδο.

Η *photoimaging* διαδικασία περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός φιλμ σε ένα καθαρό μονωτικό με τη χρήση λέιζερ photoplotter, και στη συνέχεια αφήνει να περάσει το φως επάνω στο PCB που επικαλύπτεται με το φωτοευαίσθητο υλικό και θα δημιουργήσει την επιθυμητή εικόνα.

Μια νέα βελτίωση, αποκαλούμενη *direct imaging*, μπορεί να απομακρύνει την ανάγκη χρήσης φιλμ. Χρησιμοποιεί μια άμεση ψηφιακή εικόνα για να εκθέσει το φωτοευαίσθητο υλικό με λέιζερ. Λειτουργεί κατά τρόπο διαφορετικό από το *photoimaging* γιατί κανένα φιλμ δεν απαιτείται, και θεωρείται ακριβέστερη. Εντούτοις, είναι γενικά πιο αργή από την παλαιότερη διαδικασία με φιλμ.

Ορισμένα κυκλώματα χρησιμοποιούνται ως κεραίες για να δημιουργήσουν ραδιοσυχνότητες. Αυτές οι πλακέτες απαιτούν μικρές ανοχές και είναι συνήθως εντελώς καλυμμένες εξολοκλήρου από μονωτικό υλικό.

Οι αντιστάσεις είναι μερικές φορές απαραίτητες σε κυκλώματα που βρίσκονται σε εσωτερικά επίπεδα και είναι απρόσιτα από έξω. Το γεγονός αυτό επιβάλλει τη δημιουργία των αντιστάσεων πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα (*onboard resistors*). Δύο γενικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αντιστάσεων πάνω στην πλακέτα. Η πρώτη χρησιμοποιεί ένα ειδικό αγωγίμο υλικό. Αποτελείται από ένα στρώμα χαλκού, ένα λεπτό στρώμα μονωτικού

πλαστικού και ανθεκτικό υλικό. Η εικόνα του κυκλώματος για το στρώμα είναι αποτυπωμένη στον αγωγό χαλκού και έπειτα οι αντιστάσεις χαράζονται με την αφαίρεση κομματιών του μονωτικού πλαστικού που επιτρέπει μια ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ δύο κυκλωμάτων μέσω του ανθεκτικού υλικού. Η άλλη μέθοδος είναι να χρησιμοποιηθεί ένα υγρό που είναι ηλεκτρικά ανθεκτικό, και καλύπτει τις αντιστάσεις επάνω στο στρώμα μεταξύ των κυκλωμάτων.

Η ελεγχόμενη σύνθετη αντίσταση είναι μια άλλη σύνθετη χρήση αντίστασης σε κυκλώματα. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει πολύ ακριβή κατασκευή αγωγών και κάθετες αποκλίσεις μεταξύ των στρωμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα από ένα τροφοδοτημένο ίχνος απεικονίζονται από τον τροφοδοτημένο χαλκό σε ένα στρώμα αναφοράς, και χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν μια αντίσταση στο ίχνος. Ο προσεκτικός έλεγχος και η δοκιμή αυτής της κατασκευής είναι το πρωταρχικό μέλημα κάθε κατασκευαστή γιατί δεν υπάρχει τρόπος επισκευής αν προχωρήσουμε στο τελικό στάδιο κατασκευής της πλακέτας και αντιληφθούμε ότι υπάρχει κάποιο λάθος.

ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Οι βασικές τάσεις για αλλαγές στην παραδοσιακή βιομηχανία κατασκευής ηλεκτρονικών προϊόντων, οδηγούνται από τις παρακάτω απαιτήσεις για τις συσκευές του κοντινού μέλλοντος

- περαιτέρω σμίκρυνση
- καλύτερα τεχνικά χαρακτηριστικά
- περισσότερες λειτουργίες
- χαμηλότερο κόστος παραγωγής
- λιγότερα προβλήματα κατά την παραγωγή
- περισσότερη αξιοπιστία

Η παραγωγή προϊόντων με χρήση SMD fine pitch υλικών, προχωρά σε υιοθέτηση υλικών που έχουν lead pitch 0.3 mm (12 mils). Παράλληλα λόγω των αντικειμενικών δυσκολιών που έχει αυτή η εφαρμογή, προωθείται γρήγορα και η χρήση νέων υλικών που θα βοηθήσουν ουσιαστικά στην επίτευξη αυτών των απαιτήσεων. Αυτά τα υλικά είναι τα **BGA (Ball Grid Array)**, **COB (Chip On Board)**, **Flip Chip** και **CSP (Chip Scale(size) Package)**.

Υπάρχουν όμως ακόμη κάποια προβλήματα από την χρήση αυτών των υλικών, αφού δεν έχει ολοκληρωθεί ο κύκλος ανάπτυξής τους για ευρεία χρήση στην βιομηχανία. Όμως όλα αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται ήδη σε ειδικά τυπωμένα κυκλώματα, συνήθως κεραμικά, με εξαίρεση τα BGAs, τα οποία έχουν ήδη εισβάλει στην βιομηχανία. Ο λόγος που τα BGAs είναι η εξαίρεση σε αυτά τα υλικά, είναι ότι η παραγωγική διαδικασία που απαιτούν είναι αυτή που ουσιαστικά χρησιμοποιείται και σήμερα στην SMT.

Στους πίνακες που παρατίθενται βλέπουμε την τάση της βιομηχανίας

ΠΡΟΪΟΝΤΑ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΥΛΙΚΑ	ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ
↑Φορητά	↑Σμίκρυνση	↑Δομικά υλικά	↑Ακρίβεια
↓Ισχύς	↑Ψηφιοποίηση	↑Ολοκλήρωση	↑Ευελιξία
↑Λειτουργίες	↓Thru Hole	↓Μικρά παθητικά	↑Μεγάλη ταχύτητα
↑Χαρακτηριστικά	↑SMT	↓IC pitches	↑Αξιοπιστία
↑Προσωπικά	↓Κυματική συγκόλληση	↑IC leads	↓PPM
↑Προτίμηση πελατών	↑Reflow	↑Εξωτικά υλικά	↓Κόστος γενικά
↑Ποικιλία	↑Μικροηλεκτρονική	↑Chip / flip chip	↓Χρόνοι παράδοσης
↓Χρόνος ζωής	↓Hardware	↑Ομαδοποίηση	↑Επεκτασιμότητα
↓Τιμές	↑Software		
↑Ποιότητα			

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΒΑΣΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ

	Units	1990	1995	1997	2000	2005
Printed board line resolution	μm	150	100	75	50	25?
Component density	pcs / cm	10	15-20	20	35	50
Printed board layers	-	4	4-6	4-6	6-8	10
Printed board thickness	mm	0.6	0.8	0.6/flex	0.4/flex	flex
IC package cost	\$ per I/O	-	1.0	0.5-0.8	0.5	0.2
IC pitch	mm	0.50-0.65	0.4	0.4	0.3	0.2?
IC pitch naked X-tal:						
flip chip reflow	μm	300	200	150	100	50
wire bonding	μm	150(Au)	100-125(Au)	75(Al)	50	25-50
TAB	μm	100	70	50	50	-
Ball grid arrays	mm	-	1.27-1.5	1.0	0.8	0.8
pitch μBGA/CSP		-	0.5	0.5		0.3
Typical passive comps	mils	0603	0402	0402	0302 (0201?)	?

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΜΙΚΡΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

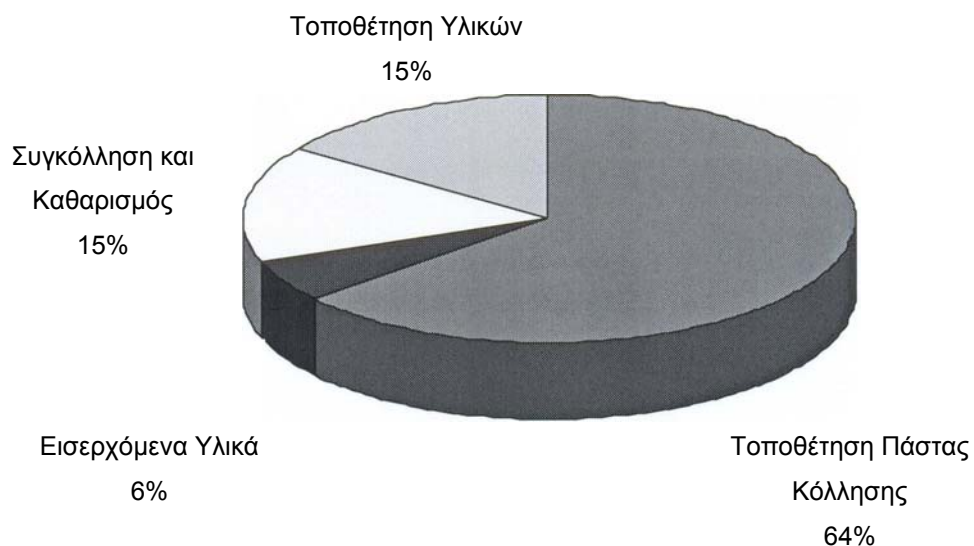
	1994	1997	2000	2003
Βασικό υλικό	FR2-FR4	FR4 με υψηλό θερμικό συντελεστή	FR4 με υψηλό θερμικό συντελεστή, νέα υλικά	FR4 με υψηλό θερμικό συντελεστή, νέα υλικά, εύκαμπτα
Υλικό ενδυνάμωσης	γυαλί-χαρτί	γυαλί, (οργανικές ίνες)	γυαλί, οργανικές ίνες	γυαλί, οργανικές ίνες
Τεχνολογία	διπλής όψης, πολυεπίπεδα, τυφλά vias	διπλής όψης, πολυεπίπεδα, τυφλά vias	διπλής όψης, πολυεπίπεδα, τυφλά και εσωτερικά vias	διπλής όψης, πολυεπίπεδα, τυφλά και εσωτερικά vias
Απαγωγή θερμότητας	τίποτε, ψήκτρα	ψήκτρα, εσωτερικό μεταλλικό επίπεδο	ψήκτρα, εσωτερικό μεταλλικό επίπεδο	ψήκτρα, εσωτερικό μεταλλικό επίπεδο
Πάχος γραμμής (μm)	150(100)	100(75)	75(50)	50(25)
Διάμετρος οπών (mm)	0,3-0,4(0,2)	0,25(0,15)	0,15(0,05)για μη ενισχυμένο υλικό	0,15(0,1 Ο) σε ενισχυμένο 0,05(0,025) σε μη ενισχυμένο
Διάμετρος pad (mm)	0,5(0,35)	0,35(0,05)	0,35(0,05)	0,35(0,25) σε ενισχυμένο 0,25(0,15) σε μη ενισχυμένο
Επιπεδότητα (%)	1,0(0,5)	0,5(0,3)	0,3(0,2)	0,2
Solder resist	μεταξοτυπικά	φωτοευαίσθητα	φωτοευαίσθητα	φωτοευαίσθητα
Finishing τυπωμένων	HASL, Ni/Au, παθητικοποίηση Cu	Ni/Au, παθητικοποίηση Cu	Ni/Au, παθητικοποίηση Cu, (νέα υλικά Pd, Ag, κλπ)	Ni/Au, παθητικοποίηση Cu, (νέα υλικά Pd, Ag, κλπ)

Πίνακας 3: ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

ΕΛΕΓΧΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ REFLOW ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Η διαδικασία συγκόλλησης θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα σημεία μιας γραμμής παραγωγής προϊόντων SMT. Στην πραγματικότητα όμως με την χρήση των εξελιγμένων συστημάτων Reflow, η βαρύτητα πλέον έχει πέσει στην άλλη άκρη της γραμμής, στην αρχή, δηλ. στην διαδικασία τοποθέτησης solder paste.

Στατιστικά έχει υπολογισθεί ότι το ποσοστό συνεισφοράς των διαφόρων φάσεων παραγωγής σε προβλήματα είναι όπως απεικονίζεται στο γράφημα:



Επίσης στατιστικά φαίνεται ότι περίπου το 50% των προβλημάτων παραγωγής SMT είναι η δημιουργία ανοικτών κυκλωμάτων (opens) και βραχυκυκλωμάτων, ενώ το υπόλοιπο 50% αφορά όλα τα υπόλοιπα προβλήματα π.χ. ελαττωματικοί μηνίσκοι, λάθος, απουσία και κακή τοποθέτηση υλικών, αλλά και ελαττωματικά υλικά.

Ποσοστιαία μπορούμε να αναφέρουμε ότι τα βραχυκυκλώματα βρίσκονται σε ποσοστό συμμετοχής -15% τα ακόλλητα γενικώς -35% και τέλος τα ακόλλητα σε QFP υλικά -15% τα οποία συνήθως οφείλονται στο κακό Coplanarity των άκρων τους.

Έτσι στην συνέχεια θα αναφερθούμε στα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν α) από την χρήση και την διαδικασία εναπόθεσης solder paste και β)κατά την διαδικασία συγκόλλησης.

Υπάρχουν πολλές επιλογές σχετικά με το μείγμα της κόλλησης που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς, όμως ευρύτατα αποδεκτή σύνθεση solder paste είναι 63/37 Sn/Pb και 62/36/2 Sn/Pb/Ag.

Η διεθνής εμπειρία, αλλά και η δική μας, σε αυτόν τον τομέα έχει αποδείξει τα εξής: α) 63/37 Sn/Pb

- Υπάρχει συνήθως χαμηλότερη τιμή αγοράς.
- Η συμπεριφορά της σε συγκολλήσεις απλών υλικών είναι πολύ καλή.
- Η συμπεριφορά της σε συνθήκες συγκόλλησης υλικών με άκρα καλυμμένα με μίγμα Ag/Pd (συνήθως κεραμικοί πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας και τάσης) είναι πολύ κακή.
- Η συμπεριφορά της σε συγκολλήσεις κάθε υλικού είναι πολύ καλή.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές μεγάλης γκάμας προϊόντων επιλέγουν την δεύτερη λύση διότι ο μηνίσκος είναι ελαφρά πιο γυαλιστερός για λόγους εμφάνισης, αλλά ιδιαίτερα για λόγους ύπαρξης ενιαίου τύπου πάστας κόλλησης για όλα τα προϊόντα και για όλες τις γραμμές παραγωγής. Η πρώτη λύση χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα σε μαζικές παραγωγές, όπου η μείωση του κόστους είναι ο πρώτος βασικός παράγοντας, αλλά αντίστοιχα είναι απόλυτα εξασφαλισμένη και η τροφοδοσία της παραγωγής με υλικά τα οποία έχουν πάντα τις ίδιες προδιαγραφές επιμετάλλωσης των άκρων τους.

Η περιεκτικότητα σε μέταλλα της solder paste είναι από 85% - 91 %, ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής που θα επιλεγεί:

- Dispensing: 85% - 88%, συσκευασία σε σύριγγες 1 O - 30ml για χρήση σε dot dispensers.
- Stencil Printing: 89% - 91 %, συσκευασία σε βάζα 250gr. - 1 kg και σε σύριγγες 1 kg, για χρήση σε αυτόματους Screen printers.

Το υπόλοιπο υλικό, 9% - 15% είναι flux και διαλύτες που απαιτούνται για την συγκόλληση και την επίτευξη της επιθυμητής πυκνότητας της solder paste.

Σήμερα επικρατούν δύο τύποι solder paste ανάλογα με τον τύπο flux που χρησιμοποιούν: Low Residue και No clean. Βεβαίως διατίθενται και άλλοι παλαιότεροι τύποι π.χ. RMA και Water Soluble fluxes οι οποίοι χρησιμοποιούνται ακόμα σε γραμμές παραγωγής που έχουν μελετηθεί για τέτοια διαδικασία παραγωγής.

Για την επιλογή της σωστής πάστας συγκόλλησης και κατ' επέκταση της διαδικασίας συγκόλλησης, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν:

- .No clean διαδικασία δεν είναι αποδεκτή από στρατιωτικές προδιαγραφές και συνεπώς συνιστάται σαν οικονομικότερη η χρήση solder paste με Water Soluble fluxes. Βεβαίως και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται ειδικό πλυντήριο καθαρισμού με το ανάλογο κόστος επένδυσης.
- Η No clean διαδικασία απαιτεί συγκόλληση σε περιβάλλον αζώτου και συνεπώς πρέπει να ελεγχθεί η διαθεσιμότητα τέτοιου Reflow ή δυνατότητα αναβάθμισης υπάρχοντος, αλλά και το κόστος εγκαταστάσεων αποθήκευσης και τροφοδοσίας αζώτου.
- Η αποτελεσματικότητα στο φαινόμενο wetting του επιλεγέντος τύπου
- Η πιθανότητα "μόνιμης επικάλυψης" σκόνης του περιβάλλοντος πάνω στο προϊόν, λόγω σχετικών ιδιοτήτων του flux, ιδιαίτερα σε περίπτωση χρήσης Water soluble flux.
- Συμβατότητα του flux με το conformal coating.
- Πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων σε συστήματα εκπομπής / λήψης υψηλών συχνοτήτων (>5 GHz), λόγω περιεκτικότητας χλωρίου στην solder paste.
- Σε περίπτωση επιλογής No clean process σε περιβάλλον αζώτου, με χρήση solder paste Ultra low residue (No clean), όταν δηλαδή τα κατάλοιπα είναι λιγότερο από 15% του περιεχόμενου flux, θα πρέπει

να ληφθεί υπ' όψιν ότι μερικά υλικά που θα τοποθετηθούν, Π.χ. Μ/Σ, πηνία κλπ. έχουν λόγω κατασκευής μεγάλη ποσότητα κατάλοιπων τα οποία είναι δύσκολο να καθαρισθούν και ίσως αναιρούν το πλεονέκτημα των χαμηλών κατάλοιπων της solder paste.

- Ανάλογα με την σχεδίαση του PCB όσον αφορά τα test points για ICT μπορεί να απαιτείται συχνός καθαρισμός των pins του ICT από τα κατάλοιπα του flux αλλά επιπρόσθετα για τον ίδιο λόγο να δημιουργούνται και προβλήματα κακών επαφών και ψευδών ενδείξεων.
- Τελευταίο στοιχείο είναι το αισθητικό, το οποίο όμως θα μπορούσαμε να πούμε ότι σήμερα πλέον δεν υφίσταται, αφού τα κατάλοιπα των σύγχρονων flux αφ' ενός είναι πολύ λίγα και αφ' εταίρου τα περισσότερα είναι τελείως διάφανα.

Ένα σημείο το οποίο πρέπει να επισημάνουμε είναι το απαιτούμενο επιπλέον κόστος επένδυσης, αν αποφασισθεί no clean process σε περιβάλλον αζώτου και όχι σε φυσικό.

Θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν ότι αν δεν υπάρχουν fine pitch υλικά («20 mils pitch»), δεν είναι πολιτική επιλογή η χρήση No clean solder paste και τα PCBs είναι HASL, τότε δεν υπάρχει πλέον ουσιαστικός λόγος για την χρήση τέτοιας διαδικασίας. Επιπρόσθετα η τεχνολογία κατασκευής των solder pastes έχει βελτιωθεί τόσο πολύ, ώστε πιθανολογείται ο περιορισμός της χρήσης αζώτου, μόνον σε προϊόντα που χρησιμοποιούν Ultra fine pitch components («14mils pitch»). Θα πρέπει να σημειωθεί όμως ότι μακροπρόθεσμα ο περιορισμός της χρήσης αζώτου σε συγκολλητικές μηχανές δεν θεωρείται πια και πολύ πιθανός, αντίθετα μάλιστα θεωρείται αρκετά σίγουρη η επικράτησή του. Βασική αιτία η σχεδόν απαραίτητη χρήση του σε νέες τεχνολογίες συγκόλλησης, αφού είναι αναμενόμενο ότι υλικά όπως Flux, VOCS, διαλύτες, μόλυβδος κ.λ.π. αναμένεται να τεθούν υπό διωγμό, στο όνομα της προστασίας του περιβάλλοντος.

Η συγκόλληση σε περιβάλλον αζώτου έχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα, συγκρινόμενη με αυτήν που διενεργείται σε φυσικό περιβάλλον με χρήση solder paste Low residue, τα οποία όμως εμφανίζονται σε συγκεκριμένα προϊόντα:

- a) Βοηθά στην αύξηση της επιφανειακής τάσης της solder paste, με αποτέλεσμα την δραματική μείωση ή ακόμα και εξαφάνιση των βραχυκυκλωμάτων σε fine pitch υλικά και
- b) βοηθά πολύ την συγκολλησιμότητα αλλά και προστατεύει από την οξείδωση, τα PCBs και τα υλικά, πλεονέκτημα όμως που έχει ουσιαστικά αποτελέσματα όχι σε PCBs με finishing HASL (επικασσιέρωση), αλλά Copper passivation, Au κ.λ.π.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η απαίτηση επενδύσεων αν επιλεγεί διαδικασία Low residue ή No clean για ένα προϊόν που χρησιμοποιεί υλικά fine pitch 20 mils και το PCB έχει HASL finishing.

Απαίτηση Επενδύσεων ή αύξησης κόστους		
<i>Αιτία</i>	<i>Air reflow</i> (Low residue pastes)	<i>Nitrogen atmosphere</i> (No clean pastes)
αναβάθμιση / αντικατάσταση reflow	Κανένα	Είναι προϋπόθεση
παροχή αζώτου	Κανένα	Είναι απαραίτητη
ποσοστό προβλημάτων κόλλησης	Μέτρια	Πάρα πολύ χαμηλή
επίπεδο κατάλοιπων	Μέτρια	Πάρα πολύ χαμηλή
In Circuit Testing	Μεγάλη	Πάρα πολύ χαμηλή
Τελικό Κόστος	Χαμηλό	Μακροπρόθεσμα χαμηλότερο λόγω λιγότερων εμφανιζομένων προβλημάτων

Στη συνέχεια περιγράφονται μερικά χαρακτηριστικά **προβλήματα της solder paste** που απαντώνται πριν από την συγκόλληση, έχουν σαν κοινό αποτέλεσμα την δημιουργία προβλημάτων στην παραγωγική διαδικασία και σχεδόν πάντα κακές κολλήσεις. Επίσης αναφέρονται οι πιθανές **αιτίες** δημιουργίας τους και προτεινόμενες **λύσεις**.

Smear: είναι το φαινόμενο όπου η solder paste έχει απλωθεί περιμετρικά γύρω από τα ανοίγματα, στην κάτω επιφάνεια του stencil

Αιτίες:

- Υψηλή πίεση στα squeegees
- Χαμηλή σκληρότητα των squeegees
- Χαμηλό ιξώδες της πάστας
- Μεγάλο πάχος του solder resist
- Λερωμένο stencil
- Λερωμένο PCB
- Στρέβλωση του PCB
- Απόσταση του PCB από το stencil (snap off >0)
- Πιθανός μερικός διαχωρισμός του flux από την solder paste

Λύσεις:

- Η πίεση στα squeegees πρέπει να είναι τόση ώστε απλώς να μην αφήνει πίσω του υπολείμματα πάστας
- Η σκληρότητα των squeegees να είναι 90-97 shores
- Το ιξώδες της solder paste να είναι 700-800Kcps
- Το μέγιστο ύψος του solder resist δεν πρέπει να υπερβαίνει το ύψος του pad
- Συχνός καθαρισμός του stencil στην κάτω πλευρά
- Καθαρισμός των λερωμένων PCBs πριν από την χρήση
- Προκειμένου για χρήση stencil το snap off πρέπει να είναι "Ο", ενώ για χρήση mesh (γάζας) αυτό επιλέγεται μετά από δοκιμές
- Καλό ανακάτεμα της solder paste πριν από την χρήση.

Flux Seperation: Διαχωρισμός του flux από το μέταλλο

Αιτίες:

- Μεγάλος χρόνος από την παρασκευή ως την χρήση

- Υψηλή Θερμοκρασία αποθήκευσης
- Χαμηλό ιξώδες

Λύσεις:

- Σοβαρό ανακάτεμα πριν την χρήση.
- Θερμοκρασία αποθήκευσης -5°C
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου από την παρασκευή ως την χρήση
- Υψηλότερη ιξώδες (750-800 Kcps) αν το επιτρέπει η διαδικασία. - Ειδικά για σύριγγες, περιστροφή των φυσιγγίων 180° κάθε 2 εβδομάδες το αργότερο.

Crusting: Επιφανειακή ξήρανση της πάστας.

Αιτίες:

- Παρατεταμένη έκθεση της solder paste στον αέρα ή στην υγρασία.
- Υψηλή περιεκτικότητα σε μόλυβδο.

Λύσεις:

- Να μη συσκευάζεται και επαναχρησιμοποιείται η ήδη χρησιμοποιημένη solder_paste.
- Τα κουτιά να είναι πολύ καλά κλεισμένα.
- Χαμηλή θερμοκρασία αποθήκευσης (-5°C)
- Να μην χρησιμοποιείται το επάνω ξηραμένο τμήμα της solder paste
- Χρήση solder paste με χαμηλότερη περιεκτικότητα μολύβδου $<40\%$.

tack time: Μικρός χρόνος χρήσης μετά την τοποθέτηση της solder paste στο PCB

Αιτίες:

- Το πρόβλημα είναι καθαρά του Προμηθευτή, αφορά το γρήγορο στέγνωμα της πάστας πάνω στο PCB (εξάτμιση διαλυτών του flux)

Λύσεις:

- Αλλαγή του τύπου solder paste ή του Προμηθευτή.

Poor Stencil life: Μικρός χρόνος χρήσης στον Screen Printer.

Ισχύει ότι και ανωτέρω αλλά πάνω στο stencil του Screen Printer. Συνήθως αυτά τα δύο χαρακτηριστικά απαντώνται μαζί, και είναι αιτίες πολλών άλλων προβλημάτων όπως π.χ. στένωση των οπών του stencil, παραμονή της solder paste στο άνοιγμα του stencil αντί στο PCB, παραμονή της solder paste πάνω στο squeegee αντί στο stencil μετά από μια εκτύπωση κ.ο.κ.

Different Print Thickness: Ανομοιόμορφο πάχος της τοποθετημένης solder paste

Αιτίες:

- Πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή ταχύτητα των squeeeges
- Στρέβλωση του stencil
- Κακή ρύθμιση του Screen Printer
- Χαμηλή σκληρότητα των squeeeges, με αποτέλεσμα να σκουπίζεται μια ποσότητα solder paste μέσα από τα ανοίγματα του stencil

Λύσεις:

- Προσεκτικά επιλεγμένη ταχύτητα μετά από δοκιμές.
- Αντικατάσταση του stencil.
- Σωστή ρύθμιση του Screen Printer
- Προκειμένου για μεγάλα ανοίγματα του stencil π.χ. "πλάτες / ψύκτρες" τρανζίστορ ισχύος, σχεδίαση εσωτερικού πλέγματος
- Χρήση squeeeges με σκληρότητα 90-97 shore

SLUMP : Είναι η μετατροπή του "πύργου" κόλλησης, που σχηματίζεται μετά την εναπόθεση πάστας στο PCB, σε σταγόνα με αποτέλεσμα να καλύπτει γειτονικά pads.

Αιτίες:

- Υψηλή Θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Υψηλή υγρασία περιβάλλοντος.
- Χαμηλό ιξώδες
- Πολύ μεγάλη πίεση τοποθέτησης υλικών SMD.
- Χαρακτηριστική ιδιότητα της πάστας κόλλησης

Λύσεις:

- Ελεγχόμενη Θερμοκρασία Περιβάλλοντος
- Ελεγχόμενη υγρασία Περιβάλλοντος.
- Όπου το επιτρέπει η διαδικασία, χρήση solder paste με ιξώδες 750-800Kcps
- Μικρότερη πίεση τοποθέτησης των SMDs.
- Χρήση πάστας με flux υψηλότερης επιφανειακής τάσης.

Στην συνέχεια περιγράφονται προβλήματα που συναντώνται στην διαδικασία Reflow συγκόλλησης, πιθανές αιτίες δημιουργίας τους και πιθανές λύσεις.

Dewetting: Είναι το φαινόμενο εκείνο όπου η κόλληση πάνω στο pad έχει την εμφάνιση νερού σε μία επιφάνεια καλυμμένη με ένα λεπτό στρώμα γράσου ή σε άλλη περίπτωση δεν υπάρχει σωστή διαβροχή στα pads, καλύπτοντας μόνον ένα μέρος της επιφάνειάς του.

Αιτίες:

- Πιθανή ύπαρξη μόλυνσης στο επίπεδο του χαλκού στο PCB, δηλαδή κάτω από την επικασσιτέρωση. Η μόλυνση αυτή μπορεί να προέλθει π.χ. από τον εγκλωβισμό υδρατμών κατά την διαδικασία παραγωγής του PCB, δημιουργώντας οξειδώσεις.
- Δυσκολία τήξης του κράματος από το οποίο αποτελείται η επικασσιτέρωση λόγω ιδιομορφίας ή μόλυνσης του κράματος.

Λύσεις:

- Χαμηλότερη θερμοκρασία συγκόλλησης και μείωση του χρόνου τήξης της solder paste (dwell time), ώστε να είναι ομαλή η εξάτμιση όποιων αερίων έχουν εγκλωβιστεί στα pads.
- Συγκόλληση σε περιβάλλον αζώτου για να προληφθεί η οξειδωση
- Ιδιαίτερη προσοχή στον χειρισμό αυτών των PCBs ή υλικών, από το πρώτο στάδιο κατασκευής τους ως την τελική συναρμολόγηση, ώστε να αποφευχθεί επιπλέον μόλυνση των επιφανειών

- Χρήση solder paste με πολύ πιο ενεργό flux.
- Αλλαγή του κράματος επικασσιτέρωσης

Tombstoning: Είναι το φαινόμενο όπου τα SMD chips, συνήθως αντιστάσεις και πυκνωτές, σηκώνονται στο ένα άκρο τους κατά την διαδικασία συγκόλλησης.

Αιτίες:

- Διαφορετική θερμοκρασία στα δύο άκρα του υλικού, και στα αντίστοιχα pads
- Πολύ γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας συγκόλλησης
- Χρήση Vapor phase Reflow
- Μεγάλη απόσταση ανάμεσα στα pad όπου έχει τοποθετηθεί το υλικό
- Υπερβολική ποσότητα κόλλησης
- Πολύ μικρή ή καθόλου προς συγκόλληση επιφάνεια στην κάτω πλευρά των άκρων του υλικού
- Επιμηκυμένα αλλά και φαρδιά pads
- Η επικασσιτέρωση του PCB δεν είναι HASL
- Κακό solderability ενός άκρου του υλικού ή ενός pad του PCB
- Πολύ ενεργό flux

Λύσεις:

- Αποφυγή χρήσης Vapor phase Reflow
- Σωστή σχεδίαση των pads
- Τα PCBs να είναι πάντα HASL αν πρόκειται για επικασσιτερωμένο finishing
- Προσοχή στα επίπεδα οξειδωσης των υλικών ή των pads
- Πολύ ακριβή τοποθέτηση των υλικών
- Χρήση stencil πάχους 150μ, και σίγουρα όχι πάνω από 200μ
- Χρήση ενός λιγότερο ενεργού flux

Scewing (floating): Είναι το φαινόμενο όπου το υλικό μετακινείται πάνω στα pads κατά την διαδικασία της συγκόλλησης.

Αιτίες:

- Χρήση Vapor phase reflow
- Σχεδίαση διαφορετικών pads για κάθε άκρο υλικού
- Πολύ μεγάλα ή πολύ μικρά pads
- Μεγάλη ποσότητα-solder paste
- Τα pads του υλικού είναι μέρος ενός μεγαλύτερου pad αντί να επικοινωνούν με αυτό μέσω ενός λεπτού αγωγού
- Κακή τοποθέτηση των υλικών

Λύσεις:

- Αποφυγή χρήσης Vapor phase Reflow
- Σωστή σχεδίαση των pads
- Ακριβή τοποθέτηση των υλικών
- Χρήση stencil πάχους 150μ, και σίγουρα όχι πάνω από 200μ
- Χρήση ενός λιγότερο ενεργού flux

Leaching: Είναι το φαινόμενο όπου κάποια από τα μέταλλα που περιέχονται στα άκρα των υλικών διαλύονται στην κόλληση.

Αιτίες:

- Χρήση υλικών με Παλλάδιο στα άκρα τους
- Πολύ υψηλή θερμοκρασία συγκόλλησης και για μεγάλο χρονικό διάστημα

Λύσεις:

- Χρήση υλικών χωρίς παλλάδιο στα άκρα τους
- Χρήση solder paste με περιεκτικότητα 2% Ag (62Sn/36Pb/2Ag)
- Έλεγχος του Reflow Profile ώστε να συμφωνεί με τις απαιτήσεις των κατασκευαστών υλικού και solder paste

Wicking: Είναι το φαινόμενο όπου η ήδη λειωμένη κόλληση "ανεβαίνει" πάνω στο άκρο του υλικού με αποτέλεσμα την δημιουργία ακόλλητων άκρων.

Αιτίες:

- Πολύ γρήγορη προθέρμανση στην διαδικασία συγκόλλησης
- Ύπαρξη via πολύ κοντά στο pad
- Κακό Coplanarity άκρων υλικών
- Χαμηλό ιξώδες της solder paste
- Πολύ γρήγορος ρυθμός τήξης της solder paste
- Εμφάνιση του φαινομένου slump

Λύσεις:

- Έλεγχος του Reflow Profile
- Επιλογή υλικών με σωστό Coplanarity
- Χρήση πάστας με ιξώδες 700- 800 Kcps
- Τα vias να είναι καλυμμένα με solder resist

Bridging:

Αιτίες:

- Φαινόμενο slump
- Υψηλή θερμοκρασία συγκόλλησης
- Ταχύτερη θέρμανση του υλικού από το PCB - Κακή σχεδίαση του PCB και του stencil

Λύσεις:

- Έλεγχος Reflow profile
- Ανασχεδίαση του PCB και του stencil
- Εξάλειψη του φαινομένου slump

Voiding: Είναι ο σχηματισμός φυσαλίδων μέσα στον μηνίσκο. Όταν το φαινόμενο είναι ανησυχητικό τότε είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα εμφανισθούν και κρατήρες.

Αιτίες:

- Χαμηλή συγκολλησιμότητα του PCB
- Το περιεχόμενο flux είναι χαμηλής ενέργειας
- Πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε flux και διαλύτες

- Πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε μέταλλο
- Πολύ γρήγορη συγκόλληση
- Ύπαρξη υγρασίας στην πάστα κόλλησης

Λύσεις:

- Επιλογή PCB με υψηλή συγκολλησιμότητα
- Χρήση ενεργού flux
- Σωστή αναλογία σε flux / διαλύτες (9% - 12%) και μέταλλο (88% - 91 %)
- Δημιουργία του ενδεικνυόμενου από τον κατασκευαστή της solder paste reflow profile, και σίγουρα αν εξακολουθεί το πρόβλημα τότε να αυξηθεί ο χρόνος προθέρμανσης έτσι ώστε να δοθεί ο χρόνος που απαιτείται για την εξάτμιση των διαλυτών και του flux με αποτέλεσμα των εγκλωβισμό όσον το δυνατόν λιγότερων κατάλοιπων του flux.

Solder Balling Solder Beading: Είναι η δημιουργία σφαιριδίων κόλλησης διαφόρων διαμέτρων σε διάφορα μέρη του PCB, δίπλα στα υλικά ή και κάτω από αυτά.

Αιτίες:

- Όχι ακριβής τοποθέτηση της solder paste πάνω στα pads
- Πολύ μικρός χρόνος προθέρμανσης με αποτέλεσμα την δημιουργία μικρών εκρήξεων με εκτόξευση της solder paste
- Χημική αντίδραση μεταξύ της solder mask και της solder paste λόγω κακού "ψησίματος" της solder mask
- Κακή σχεδίαση των pads σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο υλικό όπου το pad εκτείνεται κάτω από το σώμα του υλικού όπως βεβαίως και η solder paste, με αποτέλεσμα κατά την συγκόλληση να δημιουργούνται solder balls στις πλευρές του υλικού
- Χρήση flux χαμηλής ενέργειας
- Υγροσκοπική solder paste η οποία περιέχει οξειδία η άλλου είδους κατάλοιπα
- Εμφάνιση των φαινομένων Smear, Slump, Vlicking και Dewetting

Λύσεις:

- Σωστή τοποθέτηση της solder paste
- Αύξηση ή μείωση (trial and error) του χρόνου προθέρμανσης στο Reflow profile - Άρση της εμφάνισης των φαινομένων Smear, Slump, Vlicking και Dewetting
- Αντικατάσταση της solder paste
- Αύξηση του χρόνου προθέρμανσης στο Reflow profile
- Πιθανώς απαίτηση χρήσης άλλου τύπου solder mask
- Συγκόλληση σε περιβάλλον αζώτου
- Ανασχεδίαση του stencil

Fillet Lifting: Αποκόλληση του μηνίσκου από το pad.

Αιτίες:

- Πολύ υψηλή θερμοκρασία προθέρμανσης στο μπάνιο κυματικής συγκόλλησης ακολουθούμενη από μεγάλο χρόνο παραμονής του PCB πάνω στο κύμα

Λύσεις:

- Ταχύτερη διέλευση στο μπάνιο κυματικής συγκόλλησης

Dendritic Growth: Το φαινόμενο της δημιουργίας δενδριτών συνήθως εμφανίζεται στην κυματική συγκόλληση, είναι ελάχιστα ορατό και πρακτικά δημιουργεί βραχυκυκλώματα ανάμεσα σε γειτονικούς αγωγούς. Είναι αποτέλεσμα ενός ηλεκτρολυτικού μηχανισμού για την ενεργοποίηση του οποίου πρέπει να συνυπάρχουν κατάλοιπα, υγρασία και κάποια τάση ώστε να συντελεστεί η ηλεκτρόλυση. Η ταχύτητα δημιουργίας του μπορεί να είναι 0,1 mm/min και μπορεί να συντελεστεί σε όλα τα κοινά χρησιμοποιούμενα αγώγιμα υλικά για την κατασκευή του PCB όπως χαλκός, άργυρος, χρυσός, μολυβδοκασσίτερος, χρυσός-παλλάδιο χρυσός-πλατίνα κλπ.

Αιτίες:

- Δημιουργία καταλοίπων σε φάση της παραγωγικής διαδικασίας του PCB ή του προϊόντος τα οποία μπορεί να έχουν εγκλωβιστεί ακόμα και κάτω από

το solder resist - Μέτρια ξήρανση του εποξικού υλικού ή (και) του solder resist του PCB.

- Πολύ οξειδωτικές ιδιότητες του flux
- Ασυμβατότητα μεταξύ του flux της solder paste και του μπάνιου κυματικής συγκόλλησης

Λύσεις:

- Ενημέρωση του κατασκευαστή τυπωμένων κυκλωμάτων για τον έλεγχο της διαδικασίας του
- Προσπάθεια για την ελαχιστοποίηση του άσκοπου χειρισμού του προϊόντος με τα χέρια, σε όλη την παραγωγική διαδικασία
- Έλεγχος της συμβατότητας των χρησιμοποιούμενων flux
- Δοκιμές χρήσης νέων τύπων flux

Σαν μέθοδοι συγκόλλησης υλικών SMD μπορούν να αναφερθούν οι παρακάτω:

1) **Vapor phase soldering**. Είναι ένα σύστημα συγκόλλησης σαν μεγάλο δοχείο όπου υπάρχει ειδικό υγρό του οποίου οι ατμοί έχουν θερμοκρασία - 230°C. Στον χώρο όπου βρίσκονται οι ατμοί εισέρχονται οι πλακέτες και γίνεται η συγκόλληση. Μοναδικό πλεονέκτημα είναι η άσχετα με την πυκνότητα του προϊόντος σταθερή θερμοκρασία, η οποία είναι αδύνατον να αυξηθεί αφού είναι και το σημείο βρασμού του υγρού, αλλά και η προστασία από την οξείδωση.

Μειονεκτήματα είναι το κόστος του υγρού, και πιθανά προβλήματα που προκαλεί στην υγεία των χρηστών, ο πολύ δύσκολος τρόπος δημιουργίας ενός κατάλληλου Profile , με συνήθως μικρό χρόνο προθέρμανσης και πιθανό αποτέλεσμα το φαινόμενο tombstoning.

2) **IR- Soldering**. Είναι ένα συνηθισμένο Reflow το οποίο χρησιμοποιεί λυχνίες IR για την τήξη της solder paste

Μειονέκτημα είναι ότι εύκολα δημιουργούνται " σκίές " λόγω του όγκου κάποιων υλικών ή της αλυσίδας μεταφοράς ενώ δεν μπορούν να αποδώσουν τα αναμενόμενα σε υλικά τύπου BGAs. Πλεονέκτημα, η χαμηλότερη κατανάλωση και η δυνατότητα δημιουργίας ακριβέστατου profile ενώ θεωρητικά τουλάχιστον

έχει πολύ λιγότερες πιθανότητες δημιουργίας του φαινομένου voiding και solder balling, αφού η IR ενέργεια διαθλάται μέσα στην ποσότητα της solder paste με αποτέλεσμα την καλύτερη εξάτμιση των διαλυτών και του flux.

3) **Hot belt Soldering**. Σε αυτήν την περίπτωση τα PCBs τοποθετούνται σε έναν θερμαινόμενο ιμάντα, μέθοδος όμως που χρησιμοποιείται πια μόνον σε πρωτότυπα ή πολύ ειδικές κατασκευές και τείνει να εξαλειφθεί.

4) **Laser Soldering**. Έχει εφαρμογή μόνον σε εξεζητημένα συστήματα για συγκόλληση Ultra fine Pitch υλικών και με χρήση μόνον σε υλικά με ορατούς ακροδέκτες, λύση όμως που λόγω κόστους και ταχύτητας δεν χρησιμοποιείται ευρέως.

5) **Ultrasonic Soldering**. Όπως και ανωτέρω χρησιμοποιείται για συγκόλληση Ultra fine Pitch υλικών. Μία μεταλλική μπάρα έρχεται σε επαφή με τα προς συγκόλληση άκρα οπότε και εφαρμόζεται η ενέργεια υπερήχων για προγραμματισμένο χρόνο και με συνεχή έλεγχο της θερμοκρασίας, ώστε να επιτευχθεί η συγκόλληση.

6) **Forced Convection Reflow**. Είναι η πλέον διαδεδομένη και αξιόπιστη λύση για την σημερινή Τεχνολογία και υλικά SMT αλλά και για το μέλλον όπως προβλέπεται. Σε αυτό το Reflow υπάρχουν στοιχεία θέρμανσης συμβατικά ή IR, (IR panels, λυχνίες ή μίξη και των δύο), ενώ επιπρόσθετα υπάρχει βεβαιασμένη κυκλοφορία του αέρα που υπάρχει στον εσωτερικό χώρο είτε είναι αέρας του περιβάλλοντος ή άζωτο.

Έτσι επιτυγχάνεται ομοιόμορφη θέρμανση του PCB και των υλικών ενώ παράλληλα είναι εύκολη η δημιουργία ενός profile για την συγκόλληση σχεδόν όλων των προϊόντων.

ΧΡΗΣΗ ΝΕΩΝ ΥΛΙΚΩΝ SMD (FLIP CHIPS / CSPs)

Υλικά Flip Chip

Όπως προαναφέρθηκε η τάση της βιομηχανίας είναι στην συνεχή σμίκρυνση των συσκευών και των δομικών υλικών.

Για τον λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια έχει επεκταθεί η χρήση των υλικών Flip Chips. Τα υλικά αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα από την IBM στα main frame Computers ήδη από την δεκαετία 1960-1970. Την επόμενη δεκαετία άρχισε να τα χρησιμοποιεί η Αμερικανική Αυτοκινητοβιομηχανία, και τέλος στην αρχή της δεκαετίας που διανύουμε άρχισαν να τα χρησιμοποιούν και άλλοι κατασκευαστές main frame Computers από την Ιαπωνία, όπως HITACHI, NEC, FUJITSU.

Το Flip Chip είναι ουσιαστικά η "καρδιά" (chip) ενός ολοκληρωμένου με επαφές σύνδεσης με το PCB που θυμίζουν BGA. Με την χρήση ενός Chip σε PCB επιτυγχάνεται ουσιαστικά μείωση της απαιτούμενης επιφάνειας, ενώ παράλληλα μπορούν να τοποθετηθούν αρκετά πάνω σε ένα PCB (συνήθως κεραμικό) δημιουργώντας π.χ. έναν ισχυρότατο Custom επεξεργαστή.

Δύο τεχνολογίες ανταγωνίζονται σε αυτόν τον τομέα, η Τεχνολογία COB (Chip On Board) και flip chip technology. Και οι δύο τεχνολογίες χρησιμοποιούν σχεδόν το ίδιο chip. Στην τεχνολογία COB το chip τοποθετείται με τις επαφές προς τα άνω και μετά εφαρμόζεται Wire Bonding, δηλαδή ένωση των επαφών με το PCB χρησιμοποιώντας λεπτά σύρματα και ακριβέστατες μηχανές. Εύκολα κάποιος μπορεί να δει μια μνήμη σε μικροσκόπιο για να καταλάβει την τεχνολογία COB.

Στην τεχνολογία flip chip το υλικό τοποθετείται με τις επαφές προς το PCB το οποίο επίσης έχει αντίστοιχα Pad και η συγκόλληση γίνεται με τους τρόπους που θα αναφερθούν παρακάτω.

Η τεχνολογία flip chip είναι πλεονεκτικότερη της COB για δύο τουλάχιστον λόγους

- a) Απαιτεί μικρότερο χώρο τοποθέτησης ανά chip και είναι ιδιαίτερα πλεονεκτικό σε περίπτωση χρήσης περισσότερων του ενός ανά προϊόν.
- b) Το chip μπορεί να τοποθετηθεί από τα ήδη υπάρχοντα μηχανήματα Παραγωγής SMT (αρκεί να καλύπτουν τις απαιτήσεις ακριβείας), χωρίς να χρειάζεται εξειζητημένα μηχανήματα Bonding, αλλά μόνον feeders και flux dispensers.

Ένα σοβαρό όμως πρόβλημα της χρήσης των flip chips σε προϊόντα χαμηλού κόστους με οργανικά (και όχι κεραμικά) PCBs είναι η ανάγκη "Underfilling" δηλαδή η τοποθέτηση εποξικού υλικού στην κάτω πλευρά του.

Τρόποι συγκόλλησης

1) Conventional Solder Paste Reflow Technology.

Χρησιμοποιείται η συμβατική τεχνολογία συγκόλλησης SMD αλλά έχει εφαρμογή μόνον όπου το "pitch" των επαφών είναι αρκετό για τέτοια χρήση δηλαδή $> 0,3 \text{ mm}$.

2) C 4 (Controlled Collapse Chip Connection).

Εδώ χρησιμοποιείται flux με μέση - υψηλή πυκνότητα για την συγκράτηση και συγκόλληση του υλικού στο PCB. Η συγκόλληση (μηνίσκος) επιτυγχάνεται με την ποσότητα κόλλησης που υπάρχει πάνω στις επαφές του υλικού.

3) DCA (Direct Chip Attach).

Είναι εφαρμογή που υιοθετήθηκε από την Motorola και χρησιμοποιεί στις επαφές σφαιρίδια κόλλησης από υλικό που τήκεται σε υψηλή θερμοκρασία, ενώ στο PCB υπάρχει ποσότητα κόλλησης με χαμηλό σημείο τήξης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα σφαιρίδια (Bumps) έχουν διάμετρο $100 \mu\text{m}$ και απόσταση (pitch) $200 \mu\text{m}$, που συνεπάγονται την χρήση μηχανής τοποθέτησης με ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια.

4) Electrically Conductive Adhesive Bonding.

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως στην παραγωγή προϊόντων SMT όπου όμως η πάστα κόλλησης έχει αντικατασταθεί από αγωγήμη κόλλα. Τα πλεονεκτήματα είναι φανερά αν αναλογιστούμε ότι ο μόλυβδος τείνει να μπει σε λίστα υλικών" υπό κατάργηση" και ότι οι κόλλες αυτές κατά την ξήρανσή τους απαιτούν θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από την πάστα κόλλησης με αποτέλεσμα πολύ χαμηλό θερμικό shock στα υλικά.

Συσκευασία Υλικών

Standard Tape: Είναι ιδανικό για μεγάλες παραγωγές όμως τα flip chips δεν έχουν συγκεκριμένες διαστάσεις και συνεπώς είναι σχετικά δύσκολη η εφαρμογής τους.

SURF TAPE: Το υλικό είναι τοποθετημένο σε ταινία με συγκολλητικές ιδιότητες. Απαιτεί έναν πολύπλοκο feeder διότι το υλικό τροφοδοτείται με τις επαφές προς τα άνω και ο feeder πρέπει να το αναστρέψει πριν τροφοδοτήσει την κεφαλή της μηχανής τοποθέτησης.

WAFFLE PACK: Το υλικό είναι τοποθετημένο σε ένα κοινό" γκοφρέ" πλαστικό όπως τα QFP. Αυτό συνεπάγεται, ευελιξία της μηχανής στην χρήση πολλών flip chips.

WAFFER: Είναι μία λύση που δεν είναι πολύ εφαρμόσιμη σε μεγάλες παραγωγές αφού τα υλικά είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο μέσα σε ένα κυκλικό συνήθως ή τετράγωνο πλαίσιο και στηρίζονται με κάποια κολλητική ιδιότητα της βάσης. Όμως είναι δύσκολη η τροφοδοσία των μηχανών, αφ' ενός διότι δεν υπάρχει εμφανής φορά στο πλαίσιο και αφ' εταίρου διότι επιβάλλεται αναστροφή του υλικού προς τα κάτω αφού οι επαφές βρίσκονται πάντα στην άνω επιφάνεια. Παρ' όλα αυτά είναι η λύση που εφαρμόζεται από την συντριπτική πλειοψηφία των χρηστών.

ΥΛΙΚΑ CSP (Chip Scale Packages)

Το CSP περιγράφεται σαν υλικό με επιφάνεια όχι μεγαλύτερα από 1,2 Χ την επιφάνεια του chip. Για την συγκόλλησή τους τα υλικά αυτά συνήθως είναι όπως τα BGAs ή έχουν ειδικά άκρα (lead frames) μοιάζοντας με QFPs. Η συσκευασία και η συγκόλληση τους είναι παρόμοια με αυτήν των συμβατικών SMD υλικών.

ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΥΛΙΚΑ BGAs

Η τάση των τελευταίων ετών για παραγωγή προϊόντων υψηλής τεχνολογίας και ταυτόχρονα ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων δημιούργησε την απαίτηση για υλικά υψηλών προδιαγραφών, επίσης ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων αλλά και μεγάλου αριθμού I/O. Από την χρήση των υλικών PGA (Pin Grid Array) περάσαμε στην χρήση των υλικών SMD και ειδικά στα QFP (Quad Flat Pack) με lead pitch από 1.27mm ως 0.3 mm και αριθμό ακροδεκτών ως και πάνω από 300, αλλά τα ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά φθάνουν τους 280 ακροδέκτες.

Όμως όσον μειώνεται η απόσταση ανάμεσα στα άκρα των QFP τόσο ανεξέλεγκτη γίνεται η τάση για δημιουργία βραχυκυκλωμάτων, καθιστώντας αυτά τα υλικά ακατάλληλα για προϊόντα μαζικής παραγωγής, απαιτώντας παράλληλα ακριβή μηχανήματα για την τοποθέτηση και συγκόλλησή τους ενώ ο αυτοματοποιημένος οπτικός έλεγχος είναι πλέον απαραίτητος. Με αυτό το δεδομένο καθώς επίσης και με το ότι η εναπόθεση πάστας κόλλησης δεν μπορεί να καλύψει πλέον τέτοιες απαιτήσεις, δημιουργήθηκε η ανάγκη σχεδίασης ενός νέου υλικού που θα κάλυπτε τις νέες απαιτήσεις. Έτσι χρησιμοποιώντας την φιλοσοφία των Flip Chips δημιουργήθηκε το BGA.

Τα υλικά BGA μπορούμε να δεχθούμε ότι είναι υλικά PGA με διαστάσεις που κυμαίνονται από 7-50mm μήκος πλευράς, στα οποία οι ακροδέκτες έχουν αντικατασταθεί από μικρές κυκλικές επιφάνειες, καλυμμένες με σφαιρίδια κόλλησης διαμέτρου -20 - 35mils. Παράλληλα η απόσταση μεταξύ των ακροδεκτών έχει ελαττωθεί από 2.5mm σε 1,27mm με τάση για μείωση σε 0,5mm, δημιουργώντας έτσι υλικά με τεράστιο αριθμό ακροδεκτών, που θεωρητικά φθάνει μέχρι και 2400 I/O, συγκριτικά με τα έως τώρα δεδομένα.

Συνοψίζοντας λοιπόν τα υλικά BGA είναι υλικά επιφανειακής τοποθέτησης (SMD) τα οποία συνδέονται με το PCB μέσω ενός αριθμού σφαιριδίων ή κολόνων κόλλησης τοποθετημένων στην κάτω όψη του σώματός τους.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα από την χρήση αυτών των υλικών είναι:

- α) μεγάλος αριθμός I/O στην ίδια επιφάνεια,
- β) αναβαθμισμένη λειτουργία λόγω του πολύ μικρότερου μήκους ακροδεκτών, αφού δίνεται επιπλέον η δυνατότητα να σχεδιάζεται το υλικό με το απαιτητό μήκος αγωγού από το chip έως το τυπωμένο κύκλωμα,
- γ) δυνατότητα για την μέγιστη δυνατή ψύξη του υλικού αφού υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης της ψήκτρας πάνω στο chip,
- δ) δυνατότητα τοποθέτησης πολλών ισχυρών chips(π.χ. flip chips) μέσα στο ίδιο υλικό,
- ε) δεν υπάρχει ανάγκη ιδιαίτερης προσοχής στους ακροδέκτες λόγω σχήματος συγκριτικά με τα υλικά QFP ενώ παράλληλα δεν απαιτείται υψηλή τεχνολογία για την δημιουργία των σφαιριδίων,
- ζ) πλήρης συμβατότητα με τα ήδη χρησιμοποιούμενα μηχανήματα παραγωγής,
- η) το υλικό κεντράρεται από μόνο του κατά την φάση της συγκόλλησης σε περίπτωση που δεν έχει τοποθετηθεί καλά κεντραρισμένο από την μηχανή τοποθέτησης υλικών SMD,
- η) ο μηνίσκος κόλλησης πλέον είναι ένας κύλινδρος ο οποίος έχει πολύ καλύτερη συμπεριφορά σε διάφορες συνθήκες συγκριτικά με τον μηνίσκο κόλλησης που έχει ένα QFP.
- θ) στατιστικά μέχρι τώρα έχει αποδειχθεί ότι υπάρχουν ελάχιστα προβλήματα που οφείλονται στην ποιότητα των κολλήσεων συγκριτικά με τα QFP, αυξάνοντας έτσι τα ποσοστά "pass" των καρτών με την πρώτη φορά αλλά και την αξιοπιστία των καρτών.

Τα βασικότερα μειονεκτήματα από την χρήση αυτών των υλικών είναι:

- α) οι μηνίσκοι κόλλησης δεν είναι ορατοί για οπτικό έλεγχο κάτι το οποίο ίσως απαιτεί σοβαρή επένδυση για εγκατάσταση συστήματος ελέγχου με χρήση ακτινών "X".

β) σε περίπτωση διάγνωσης ενός ακόλλητου ακροδέκτη απαιτείται αποσυγκόλληση / επανασυγκόλληση ολόκληρου του υλικού με χρήση ειδικού μηχανήματος

γ) τα υλικά PBGA και TBGA είναι ευαίσθητα στην υγρασία και απαιτούν ειδικό χειρισμό κατά την αποθήκευση και την χρήση.

Τύποι υλικών

1. PBGA (Plastic Ball Grid Array): είναι το πιο διαδεδομένο ως αυτήν την στιγμή. Είναι κατασκευασμένο από απλό υλικό FR4, στο οποίο έχει τοποθετηθεί το chip.

Πλεονεκτήματα:

α) φθινό κόστος κατασκευής,

β) σχετικά εύκολη χρήση του με τα ήδη χρησιμοποιούμενα μηχανήματα παραγωγής,

γ) δυνατότητα συγκόλλησης τους στις ήδη χρησιμοποιούμενες συνθήκες θερμοκρασίας

δ) σχεδόν ίδιους συντελεστές θερμικής διαστολής (thermal expansion) με το PCB.

Μειονεκτήματα:

α) αδυναμία για ερμητικό κλείσιμο του chip λόγω χρήσης του πλαστικού, με συνέπεια αυξημένη ευαισθησία στην υγρασία,

β) πιθανότητα ελαφριάς στρέβλωσης (warping) του υλικού μετά ή κατά την διαδικασία συγκόλλησης, με πιθανότητα την αποκόλληση κάποιου συγκολλημένου άκρου,

γ) ενώ υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν περισσότερα από ένα chip σε ένα υλικό, εν τούτοις μπορούν να τοποθετηθούν μόνον wire bonded

chips ή μικρά flip chips, κάτι το οποίο δεν επιτρέπει την χρήση του σε εφαρμογές πολύ υψηλών απαιτήσεων σε αριθμό I/O.

2. CBGA (Ceramic Ball Grid Array): είναι ίδιο υλικό όπως και το PBGA με την διαφορά ότι το σώμα του είναι κατασκευασμένο από κεραμικό υλικό.

Πλεονεκτήματα:

- α) δεν έχει ευαισθησία στην υγρασία,
- β) εάν αποσυγκολληθεί από το τυπωμένο κύκλωμα και ελεγχθεί, μπορεί να επανασυγκολληθεί αφού προηγουμένως τοποθετηθούν σφαιρίδια κόλλησης (με μεταξοτυπικό τρόπο) σε αντικατάσταση αυτών που αφαιρέθηκαν,
- γ) λόγω της χρήσης ειδικού κράματος για τα σφαιρίδια κόλλησης (10/90 Sn/Pb), κατά την διαδικασία συγκόλλησης το υλικό παραμένει σε κάποιο ύψος από το τυπωμένο κύκλωμα κάτι το οποίο δεν θα συνέβαινε αν υπήρχε κοινός τύπος πάστας κόλλησης. Αυτό συμβαίνει διότι το συγκεκριμένο μείγμα των solder balls έχει υψηλότερο σημείο τήξης και συνεπώς η πάστα κόλλησης αγκαλιάζει το solder ball, δίνοντας παράλληλα την δυνατότητα καθαρισμού σε πλυντήρια υπερήχων.
- δ) τέλος υπάρχει βελτιωμένη λειτουργικότητα εξ' αιτίας της δυνατότητας να τοποθετηθούν πολλά chips στο ίδιο σώμα, ισχυρά flip chips ή wire bonded chips ή συνδυασμός και των δύο κάτι που καθιστά το CBGA ιδανικό για εφαρμογές πολύ υψηλών απαιτήσεων, και λόγω της μικρής απόστασής τους από το τυπωμένο κύκλωμα.

Μειονεκτήματα:

- α) είναι δύσκολη η δημιουργία ιδανικών συνθηκών συγκόλλησης λόγω της μεγάλης θερμικής μάζας που έχει το κεραμικό υλικό,
- β) η θερμική διαστολή είναι διάφορη από αυτήν του τυπωμένου κυκλώματος με πιθανότητα την δημιουργία προβλημάτων στο τυπωμένο κύκλωμα ή σπασμένων μηνίσκων κόλλησης, γ) όσο λιγότερα είναι τα

σφαιρίδια κόλλησης τόσο ελαττώνεται η αντοχή τους σε συνθήκες εναλλαγών θερμοκρασίας.

3. CCGA (Ceramic Column Grid Array): είναι ακριβώς το ίδιο υλικό με το CBGA, με μόνη διαφορά ότι αντί για την χρήση σφαιριδίων κόλλησης εδώ χρησιμοποιούνται μικρές κολώνες κόλλησης (10/90 Sn/Pb)

Πλεονεκτήματα:

Είναι τα ίδια με του CBGA και επιπρόσθετα

- α) λόγω των κολόνων κόλλησης δεν ελαττώνεται η αντοχή τους σε συνθήκες εν αλλαγών της θερμοκρασίας,
- β) είναι λίγο ευκολότερη η δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών συγκόλλησης, αφού είναι πιο εύκολη η κίνηση του θερμού αέρα μέσα στο πλέγμα των κολόνων από ότι στο πλέγμα των σφαιριδίων.

Μειονεκτήματα:

εκτός από τα αντίστοιχα του CBGA επιπρόσθετα

- α) οι κολώνες είναι πολύ ευαίσθητες σε στρέβλωση κατά την συσκευασία και την χρήση συγκριτικά με τα σφαιρίδια,
- β) έχουν ύψος μεγαλύτερο, κάτι που τα καθιστά ακατάλληλα για εφαρμογές σε προϊόντα πολύ χαμηλού προφίλ,
- γ) σχετικά μειωμένη ηλεκτρική λειτουργία λόγω του ύψους των κολόνων.

4. TBGA (Tape Ball Grid Array): είναι υλικό σχετικά εύκαμπτο κατασκευασμένο από δύο μεταλλικές επιφάνειες όπου η μία χρησιμοποιείται για γείωση και η άλλη για την μεταφορά των σημάτων.

Πλεονεκτήματα:

- α) χαμηλό κόστος πρώτης ύλης,
- β) ολοκληρωμένη γείωση,
- γ) πολύ χαμηλό προφίλ,
- δ) λόγω της ευκαμψίας του δεν δημιουργείται κάποιο πρόβλημα λόγω των τυχόν διαφορετικών συντελεστών θερμικής διαστολής

Μειονεκτήματα:

- α) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην υγρασία,
- β) για καλύτερα αποτελέσματα το chip πρέπει να συγκολλείται με χρυσό,
- γ) μπορεί να χρησιμοποιείται μόνον ένα chip σε κάθε υλικό.

Γενικά σχόλια για υλικά τύπου BGA

Η έναρξη της χρήσης των BGAs έχει επιπτώσεις και σε άλλους τομείς όπως Π.χ. στην κατασκευή του τυπωμένου κυκλώματος, όπου δημιουργείται απαίτηση για τυπωμένα με υψηλό βαθμό επιπεδότητας, συνεπώς λιγότερους κατασκευαστές και προσεκτικά επιλεγμένους, αλλά και αυστηρότερους ελέγχους εισερχομένων τυπωμένων κυκλωμάτων. Επίσης λόγω της ύπαρξης σημαντικά περισσότερων ακροδεκτών στην ίδια επιφάνεια απαιτούνται περισσότερα στρώματα για την κατασκευή των τυπωμένων, κάτι το οποίο δεν αυξάνει απαραίτητα το κόστος αφού η χρήση ενός BGA συνήθως αντικαθιστά πολύ περισσότερα ICs.

Μερικά σημεία τα οποία γενικώς πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για την παραγωγή ενός προϊόντος ανώτερης ποιότητας που χρησιμοποιεί BGAs είναι:

1. Pad design:

Δεν έχει ακόμη κριθεί η καλύτερη επιλογή, έτσι το pad προτιμάται από άλλους κυκλικό και από άλλους τετράγωνο. Το τετράγωνο pad έχει σίγουρα καλύτερη πρόσφυση στο τυπωμένο λόγω μεγαλύτερης επιφάνειας αλλά είναι πλεονέκτημα κυρίως στην περίπτωση αποσυγκόλλησης του υλικού και όταν αυτό έχει ιδιαίτερα μεγάλες διαστάσεις όπου σε θερμικούς κύκλους το υλικό (ιδιαίτερα αν πρόκειται για CBGA/CCGA) διαστέλλεται με διαφορετικό ρυθμό από το τυπωμένο. Τελευταία εφαρμόστηκε μια καινούρια τεχνική, σύμφωνα με την οποία αντί το solder resist του τυπωμένου να περιβάλλει το pad σε μια δεδομένη απόσταση (-S-10 mils), το solder resist επικάθεται πάνω στο pad σχηματίζοντας έναν δακτύλιο περιμετρικά, βοηθώντας τη συγκράτηση του pad στο τυπωμένο, κάνοντάς το πλεονεκτικότερο από τα προηγούμενα. Όμως τίθεται το ερώτημα κατά πόσον οι κατασκευαστές τυπωμένων μπορούν να εξασφαλίσουν τόσο ακριβή εναπόθεση solder resist, κάτι για το οποίο μέχρι σήμερα υπάρχουν σχετικά μεγάλες ανοχές και η μείωσή τους ίσως ελάττωνε σοβαρά την λίστα των εγκεκριμένων υποκατασκευαστών με παράλληλη αύξηση του κόστους. Επιπλέον

μειώνει την δυνατότητα αυτοκεντραρίσματος των υλικών, ένα από τα σοβαρά πλεονεκτήματα των BGAs.

2. PCB Solderability:

Είναι ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία του τυπωμένου για σωστό αποτέλεσμα συγκόλλησης. Στην αντίθετη περίπτωση θα υπάρχουν ακόλλητοι ακροδέκτες ή μικροί μηνίσκο! κόλλησης οι οποίοι δεν θα έχουν την απαιτούμενη αξιοπιστία και είναι δύσκολα διακριτοί.

3. Τοποθέτηση Solder Paste:

Είναι ίσως το πιο σοβαρό σημείο της παραγωγικής διαδικασίας αφού ο όγκος της πάστας κόλλησης είναι πολύ κρίσιμος για την αξιοπιστία των κολλήσεων ιδιαίτερα για τα CCGA και TBGA. Η ακρίβεια τοποθέτησης και η ποσότητα πάστας κόλλησης είναι τόσον κρίσιμη ώστε αν το επιτρέπει το κόστος επένδυσης τότε ενδείκνυται η τοποθέτηση μηχανήματος αυτόματου οπτικού ελέγχου (κατά προτίμηση τριών διαστάσεων), για την τοποθέτηση της πάστας κόλλησης.

Ο τύπος της πάστας που θα χρησιμοποιηθεί δεν είναι ειδικός αλλά εξαρτάται από το σύνολο των υλικών που τοποθετούνται στο τυπωμένο κύκλωμα. Ειδικά για τα PBGA στα οποία τα σφαιρίδια κόλλησης είναι 63/37 Sn/Pb, η πάστα κόλλησης ουσιαστικά προσφέρει το flux για τη συγκόλληση αφού έχει αποδειχθεί σε δοκιμές ότι τα εν λόγω υλικά θα μπορούσαν να συγκολληθούν ακόμα και μόνον με την χρήση flux.

Τυπικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι στην κατασκευή του stencil τα ανοίγματα έχουν ίδιες διαστάσεις με αυτές των pads ή κατά 1-2 mils μικρότερα, κάτι το οποίο αποφασίζεται μετά από δοκιμές ανάλογα με τον τύπο του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί.

Σύμφωνα με μία άλλη άποψη το άνοιγμα του stencil για ένα στρογγυλό pad πρέπει να είναι τετράγωνο ώστε να είναι ευκολότερη η αναγνώρισή του από ένα σύστημα X-ray στην περίπτωση όπου δεν έχει λειώσει η πάστα κόλλησης. Όμως με την χρήση ενός ενδεδειγμένου ref10w αυτό σχεδόν αποκλείεται, ενώ με

την χρήση X-ray laminography κάτι τέτοιο δεν είναι απαραίτητο. Επιπρόσθετα είναι μεγαλύτερη η πιθανότητα για την δημιουργία βραχυκυκλωμάτων, σχεδόν σίγουρο το φαινόμενο solder balling και τέλος δεν είναι αναγνωρίσιμη η ψυχρή κόλληση που μπορεί να δημιουργηθεί ευκολότερα λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας πάστας που υπάρχει.

4. Τοποθέτηση υλικών:

Οι τεχνικές τοποθέτησης δεν διαφέρουν από τις έως τώρα γνωστές: κλασσικό μηχανικό κεντράρισμα αλλά και μέθοδος μηχανικού κεντραρίσματος με την χρήση πλέγματος, οπτικό σύστημα που διακρίνει την περίμετρο του υλικού (back lighting), οπτικό σύστημα που κεντράρει το υλικό αναγνωρίζοντας τα σφαιρίδια κόλλησης(front lighting).

Στο κλασσικό μηχανικό κεντράρισμα το βασικό πρόβλημα είναι η μέτρια επαναληψιμότητα για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος με την χρήση πλέγματος όπου το υλικό αφήνεται σε μία υποδοχή η οποία έχει ή εσοχές ώστε να "καθίσουν" εκεί τα σφαιρίδια κόλλησης ή εξοχές οι οποίες εισέρχονται στα κενά ανάμεσα στα σφαιρίδια ή τέλος υπάρχει ένα κοίλωμα του οποίου η περίμετρος είναι τέτοια όση η εξωτερική περίμετρος που σχηματίζουν τα σφαιρίδια κόλλησης. Το μειονέκτημα είναι ότι για κάθε τύπο υλικού χρειάζεται ειδική κατασκευή και είναι αργή σαν διαδικασία τοποθέτησης αφού το υλικό πρέπει πρώτα να τοποθετηθεί στην κατασκευή και μετά να ληφθεί για τοποθέτηση.

Στην περίπτωση όπου το υλικό αναγνωρίζεται οπτικά από την περίμετρό του και συγκεκριμένα από την σκιά που δημιουργεί όταν φωτίζεται από πίσω υπάρχει το μειονέκτημα ότι λόγω των σφαιριδίων κόλλησης μπορεί να μην υπάρχει αρκετή αντίθεση στην εικόνα με αποτέλεσμα υψηλό ποσοστό απορρίψεων, αλλά επίσης το μέγεθος του υλικού που μπορεί να αναγνωρισθεί οριοθετείται από την μέγιστη εικόνα που μπορεί να "δει" η κάμερα αναγνώρισης.

Τέλος όταν το υλικό αναγνωρίζεται με μέθοδο κατ' ευθείαν φωτισμού (front lighting) υπάρχουν πολλές παράμετροι που μπορούν να ελεγχθούν κάνοντας αυτήν την μέθοδο την πιο ενδεδειγμένη και για τα BGA, αφού μπορούν να

ελεγχθούν εκτός από τις εξωτερικές διαστάσεις, ο αριθμός, η θέση και η διάμετρος των σφαιριδίων κόλλησης.

Ανάλογα με την ποιότητα του οπτικού συστήματος αναγνώρισης μπορούν να ξεπεραστούν προβλήματα όπως δυσκολίας αναγνώρισης των υλικών που χρησιμοποιούν λευκό κεραμικό, των TBGA αλλά και των διαφορών που ενδέχεται να υπάρχουν στα ίδια τα σφαιρίδια.

Σημειώνεται ότι τα περισσότερα συστήματα οπτικής αναγνώρισης "front lighting" έχουν και την εναλλακτική δυνατότητα αναγνώρισής των υλικών με φωτισμό από πίσω "back lighting".

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια της συγκόλλησης, τα PBGA και TBGA αυτοδιορθώνουν το κεντράρισμά τους λόγω της χαμηλής θερμικής μάζας που διαθέτουν, ενώ δεν ισχύει το ίδιο για τα κεραμικά υλικά CBGA, CCGA.

5. Μέθοδοι συγκόλλησης:

Η καλύτερη μέθοδος θεωρείται η Forced Convection reflow, διότι με την βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη θέρμανση όλων των σημείων και υλικών του τυπωμένου. Αποδεκτή μέθοδος είναι και Vapor phase η οποία όμως χρησιμοποιείται όλο και λιγότερο λόγω αυξημένου κόστους χρήσης. Λιγότερο αποδεκτή-αναξιόπιστη είναι η μέθοδος συγκόλλησης με συστήματα που χρησιμοποιούν IR ακτινοβολία, αφού αποδεδειγμένα αυτά τα συστήματα δεν μπορούν να αποδώσουν τα αναμενόμενα, μιας και εξαρτώνται από το χρώμα των υλικών, (όσο πιο σκουρόχρωμο είναι το υλικό τόσο περισσότερη ενέργεια απορροφά και αντιστρόφως) ή τις από αυτά δημιουργούμενες "σκιές".

Το διάγραμμα θερμοκρασίας δεν απαιτείται να είναι ειδικό αλλά το ενδεικνυόμενο από τον κατασκευαστή της πάστας κόλλησης, σχεδόν ποτέ όμως δεν υπερβαίνει τους 220°C η οποία είναι οριακή θερμοκρασία για την διάλυση του μόλυβδου στον μινίσκο κόλλησης, αλλά και σχετικά ασφαλής για τα ευαίσθητα σε υγρασία υλικά.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την σχεδίαση του PCB, όσον αφορά την χρήση vias κάτω από το υλικό, ώστε να αποφευχθεί δεύτερο reflow κατά την διαδικασία κυματικής συγκόλλησης. Για τον λόγο αυτό τα pads πρέπει

να είναι καλυμμένα με solder resist, αλλά και να αποφεύγονται αν δεν είναι απαραίτητο

6. Χειρισμός - αποθήκευση:

Όπως προαναφέρθηκε δεν απαιτείται καμία ειδική διαδικασία χειρισμού ή αποθήκευσης, αλλά οι ήδη γνωστές χρησιμοποιούμενες για τα έως τώρα ΥΕΥ. Οι διαδικασίες αυτές είναι και σχετικές με το επίπεδο ευαισθησίας στην υγρασία το οποίο ο κατασκευαστής είναι υποχρεωμένος να το αναγράφει στην σφραγισμένη συσκευασία του υλικού, διαφορετικά είναι υποχρεωμένος να αναγράφει τον μέγιστο επιτρεπόμενο χρόνο παραμονής του έξω από την συσκευασία, αλλά και τις συνθήκες ξήρανσης αν παρέλθει αυτός ο χρόνος.

Το πρόβλημα που μπορεί να προκληθεί από την μη τήρηση αυτών των διαδικασιών είναι το λεγόμενο "Popcorn Cracking".

Τα ΥΕΥ δεν σημαίνει ότι απαραίτητα έχουν συλλέξει υγρασία αλλά ούτε και το αντίθετο. Η υγρασία μπορεί να εισχωρήσει στο σώμα, στην ειδική κόλλα που καλύπτει το chip ή ακόμα και στην ένωση του chip με το τυπωμένο του. Κατά την διαδικασία της συγκόλλησης δημιουργείται ταχύτατη εξάτμιση αυτής της υγρασίας, η οποία δεν μπορεί να ξεφύγει το ίδιο γρήγορα από το υλικό στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την δημιουργία μικρών εκρήξεων και τον κατ' επέκταση διαχωρισμό των διαφόρων στρωμάτων από τα οποία αποτελείται το υλικό.

7. Καθαρισμός τυπωμένου:

Ο καθαρισμός, όπου απαιτείται, δεν είναι μια εύκολη διαδικασία αφού τα BGA έχουν ελάχιστη απόσταση (-15 - 20 mils) ανάμεσα στο σώμα τους και στο τυπωμένο. Έτσι ειδικά για τα PBGAs και TBGAs θεωρείται σχεδόν ακατάλληλη η χρήση νερού για καθαρισμό λόγω της δυσκολίας απομάκρυνσής του κάτω από το υλικό. Έτσι συστήματα καθαρισμού με υπέρηχους και διαλυτικά flux που δεν περιέχουν νερό είναι τα πλέον ενδεδειγμένα.

Γενικά πάντως η τάση για καθαρισμό των τυπωμένων κυκλωμάτων ολοένα και μειώνεται αφού εμφανίζονται στην αγορά προϊόντα για συγκόλληση, (πάστες, flux, καλάι) με ελάχιστα υπολείμματα.

8. Έλεγχος συγκόλλησης των BGAs:

Όπως προαναφέρθηκε ο οπτικός έλεγχος των BGA δεν είναι δυνατός με την χρήση γυμνού οφθαλμού αφού οι κολλήσεις βρίσκονται κάτω από το υλικό. Επίσης με την χρήση ηλεκτρονικού οπτικού ελέγχου δεν μπορεί να ελεγχθεί τίποτε άλλο εκτός από την ακριβή τοποθέτηση του υλικού κάτι που έτσι κι αλλιώς εξασφαλίζεται είτε από ένα καλό μηχάνημα τοποθέτησης είτε από το αυτοκεντράρισμα, που ισχύει βεβαίως μόνον για τα BGA κ' TBGA. Έτσι παραμένει σαν μόνη δυνατότητα η χρήση ακτινών "X". Μετά από αξιολογήσεις όμως αυτών των συστημάτων αποδείχθηκε ότι μόνον αυτά που αναλύουν σε εικόνες 3D (X-ray laminography), μπορούν πραγματικά να βοηθήσουν στην διάγνωση και λύση όποιων προβλημάτων προκύψουν στην παραγωγική διαδικασία.

Με ένα απλό X-ray σύστημα μπορούν να διακριθούν βραχυκυκλώματα ή ανύπαρκτοι μηνίσκοι, προβλήματα όμως τα οποία αναμένεται να είναι ελάχιστα (ακόμα και να μην υπάρχουν καθόλου) αν έχουμε σωστά ελεγχόμενη όλη την προηγούμενη διαδικασία παραγωγής ειδικά την τοποθέτηση της πάστας κόλλησης.

Αντίθετα με την χρήση X-ray laminography υπάρχει δυνατότητα ελέγχου του μηνίσκου κόλλησης σε όλες του τις διαστάσεις, αλλά και την έγκαιρη διάγνωση τυχόν μικρών προβλημάτων της παραγωγικής διαδικασίας πριν αυτά πάρουν την μορφή χιονοστιβάδας. Επίσης διακρίνονται στοιχεία όπως ελλιπής μηνίσκος κόλλησης, μερική αποκόλληση ή σπάσιμο του μηνίσκου, κακή διαβροχή του pad και τυχόν σπάσιμο του υλικού (porcorn crack).

Το μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι βεβαίως το πολύ υψηλό κόστος επένδυσης, αφού ένα τέτοιο σύστημα μόνον με τον βασικό εξοπλισμό, κατασκευασμένο από την HP κοστίζει -350.000 ευρώ.

Όμως όπως ισχύει και με κάθε τι σήμερα η πρόληψη είναι πάντα καλύτερη από την θεραπεία και κοστίζει από πολλές πλευρές θεαματικά λιγότερο.

Παράδειγμα: Εάν πριν από την έναρξη παραγωγής ενός τέτοιου προϊόντος δοθεί ο απαραίτητος χρόνος στους μηχανικούς παραγωγής να σχεδιάσουν όλη την διαδικασία, να φτιάξουν όλες εκείνες τις ασφαλιστικές δικλείδες που απαιτούνται και τέλος να εκτελέσουν τις απαραίτητες δοκιμές, τότε το κόστος θα είναι συγκριτικά πολύ μικρό ακόμα και αν απαιτηθεί η χρήση μηχανήματος οπτικού ελέγχου για την τοποθέτηση της πάστας κόλλησης, του οποίου το κόστος είναι περίπου 150.000 ευρώ.

Γενικά πάντως πιστεύεται ότι αν επιβεβαιωθεί η επιτυχία της διαδικασίας, μετά ο έλεγχος συγκόλλησης δεν έχει να κάνει τίποτε άλλο από το να επιβεβαιώνει συνεχώς την διαδικασία.

Έτσι θεωρείται σχεδόν σίγουρο ότι μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ανάπτυξης αυτής της ομάδας των υλικών σε ~2 - 5 έτη, θα αρκεί ένα μικρό μηχάνημα X-ray laminoğrafy, αν είναι βέβαια διαθέσιμο στην αγορά, πρώτα για την επιβεβαίωση της διαδικασίας και μετά για τον απαραίτητο δειγματοληπτικό έλεγχο.

9. Επισκευή - Αντικατάσταση BGA:

Τις περισσότερες φορές όπως έχει αποδειχθεί στατιστικά δεν υπάρχει πραγματικός λόγος αντικατάστασης των βασικών υλικών (π.χ. Processors) αλλά συνήθως οφείλεται σε κακή εκτίμηση (falls calls) των τεχνικών λειτουργικού και τελικού ελέγχου, αφού πιστεύουν ότι αυτή είναι η πιο πιθανή πηγή προβλημάτων, αλλά πρακτικά αποδεικνύεται η λιγότερο πιθανή.

Αρκετές εταιρείες έχουν ασχοληθεί με την σχεδίαση μηχανημάτων αντικατάστασης BGA άλλοι χρησιμοποιώντας απλές λύσεις του τύπου "ζεσταίνουμε το σώμα του υλικού (με θερμό αέρα ή IR), λόγω της θερμικής αγωγιμότητάς του λειώνουν οι κολλήσεις και έτσι αποκολλάται το υλικό ενώ με τον ίδιο τρόπο επιτυγχάνεται η συγκόλληση του". Όμως δεν είναι τόσο εύκολα ελεγχόμενη η θέρμανση του υλικού και ιδιαίτερα κατά την συγκόλληση, όπου συνεπάγεται κακή αξιοπιστία του μηνίσκου. Αυτή η διαδικασία θα μπορούσαμε

να αναφέρουμε ότι είναι μια μικρογραφία χρήσης ενός reflow IR η οποία αναμένεται να έχει τέτοια χαμηλής ποιότητας αποτελέσματα.

Σαν πιο επιτυχημένη διαδικασία θεωρείται αυτή όπου οι μύτες που "αγκαλιάζουν" το υλικό έχουν τέτοια διαμόρφωση, ώστε καθοδηγούν τον αέρα να περάσει κάτω από το υλικό επιτυγχάνοντας έτσι πάντοτε την καλλίτερη δυνατή συγκόλληση ή δημιουργώντας έναν κλωβό μέσα στον οποίο δημιουργούνται πανομοιότυπες συνθήκες με αυτές του Reflow.

Αυτά για την μέθοδο αποκόλλησης / συγκόλλησης, αλλά να μην ξεχνάμε και την μέθοδο κεντραρίσματος του υλικού. Αναμφισβήτητα η χρήση κάμερας, πρισμάτων και οθόνης (split optics) είναι η πλέον αξιόπιστη αλλά και η πλέον ακριβή. Εναλλακτικά χρησιμοποιείται οπτικό κεντράρισμα σε σχέση με την μεταξοτυπία του τυπωμένου ή με την χρήση χάρτινου αυτοκόλλητου πλαισίου που εφάπτεται στην εξωτερική σειρά των σφαιριδίων κόλλησης του υλικού ενώ αντίστοιχο αυτοκόλλητο χρησιμοποιείται στο τυπωμένο.

Υπάρχει όμως και το θέμα της τοποθέτησης πάστας κόλλησης. Ενώ τα PBGA μπορούν αν συγκολληθούν με μόνη την απόθεση flux, για τους άλλους τύπους υλικών απαιτείται τοποθέτηση πάστας και ειδικά στην περίπτωση των κεραμικών υλικών απαιτείται και αντικατάσταση των σφαιριδίων ή των κολόνων κόλλησης. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι αυτή η διαδικασία αντικατάστασης δεν έχει ακόμη τελειοποιηθεί αφού έχει εφαρμοσθεί μόνον σε δοκιμές και απαιτείται αρκετός χρόνος ακόμη για την τελειοποίησή της. Όμως για την τοποθέτηση της πάστας στο τυπωμένο μπορούν να κατασκευαστούν microstencils με τα οποία τοποθετούμε πάστα χειροκίνητα, κεντράροντάς το οπτικά.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΕ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ FLUX

Ενώ όλοι οι κατασκευαστές έχουν σαν βασικό στόχο την μείωση του κόστους των προϊόντων τους, οι διεθνείς συνθήκες επιβάλλουν ελαχιστοποίηση των καταλοίπων της παραγωγικής διεργασίας και ειδικά της συγκόλλησης, με παράλληλη ώθηση σε χρήση νέων υλικών που θα αντικαταστήσουν τα παλαιά π.χ. χλωροφθοράνθρακες, μόλυβδος κ.λ.π. Οι επιλογές αυτές όμως συνεπάγονται τουλάχιστον προσωρινά, αύξηση του κόστους παραγωγής ή των επενδύσεων για έρευνα προς αυτήν την κατεύθυνση.

Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης νέες τεχνολογίες άρχισαν να εφαρμόζονται πειραματικά στον τομέα της συγκόλλησης οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούν ελεγχόμενο περιβάλλον.

Η συγκόλληση σε περιβάλλον αζώτου έχει ήδη εφαρμοσθεί και ένα από τα πιο σοβαρά πλεονεκτήματά της είναι η δυνατότητα χρήσης flux σημαντικά λιγότερο επιθετικού (aggressive). Το κόστος που προκαλείται από μια τέτοια επιλογή, είναι σχετικό με το επίπεδο O₂ (σε ppm) που μπορούμε να δεχθούμε στον χώρο συγκόλλησης, με τα finishing των PCBs και με το κόστος της επανεργασίας που απαιτείται, αφού αυξάνεται ο αριθμός των βραχυκυκλωμάτων που προκαλούνται λόγω της αυξημένης επιφανειακής τάσης της κόλλησης

Για την συγκόλληση σε περιβάλλον αζώτου θα πρέπει να τονίσουμε ότι η διαφορά ποιότητας ανάμεσα σε συγκόλληση που συντελείται σε περιβάλλον 100% N₂ και σε περιβάλλον με N₂ + 1 % O₂ είναι ασήμαντη, ενώ σε πολλές περιπτώσεις έχει αποδειχθεί πρακτικά ότι η δεύτερη περίπτωση είναι πλεονεκτικότερη, ενώ η διαφορά κόστους πολύ μεγάλη.

Στα πλεονεκτήματα θα πρέπει να κατατάξουμε την ανυπαρξία σχεδόν Solder Balling (ειδικά στην περίπτωση Reflow), την μείωση της οξειδωσης, την μείωση της απαίτησης καθαρισμού του Reflow και του μπάνιου Κυματικής Συγκόλλησης αλλά και την σημαντική ελάττωση των οξειδίων της κόλλησης (Dross) στο μπάνιο.

Στον αντίποδα έχουμε να αντιτάξουμε το αυξημένο κόστος εγκαταστάσεων παροχής αζώτου, το κόστος ανάλωσής του και την πιθανή αναβάθμιση / αντικατάσταση του Reflow ή του μπάνιου κυματικής συγκόλλησης

Πειραματικά όμως έχει αρχίσει και η εφαρμογή τεχνολογίας για συγκόλληση χωρίς flux. Σε αυτή την περίπτωση στον χώρο της συγκόλλησης υπάρχει περιβάλλον που έχει συσταθεί από αέριο το οποίο ενεργεί σαν το flux στην διαδικασία συγκόλλησης

Ας το δούμε όμως λίγο αναλυτικότερα:

Το flux στην διαδικασία συγκόλλησης έχει ουσιαστικά δύο σκοπούς να εξυπηρετήσει:

- α) Να αφαιρέσει τα κατάλοιπα πάνω από τις επιφάνειες και
- β) Να προστατέψει τις επιφάνειες από περαιτέρω οξείδωση κατά την συγκόλληση.

Το δεύτερο μπορεί να επιτευχθεί εύκολα με την χρήση περιβάλλοντος αζώτου. Για το πρώτο όμως είναι απαραίτητη η χρήση flux με τα παρακάτω μειονεκτήματα:

- α) Η χρήση flux συχνά συνεπάγεται καθαρισμό στο τέλος της διαδικασίας, κάτι το οποίο με την σειρά του συνεπάγεται κόστος τουλάχιστον επένδυσης αφού δεν πρέπει να ξεχνούμε ότι τα νέα υγρά καθαρισμού που αντικαθιστούν τα CFCs, δεν επιτυγχάνουν τα ίδια επίπεδα καθαρότητας
- β) Τα περισσότερα fluxes, περιέχουν μεγάλη ποσότητα VOCS (Volatile Organic Compounds) τα οποία πρόκειται να ακολουθήσουν την τύχη των CFCs τα επόμενα χρόνια.
- Υ) Η χρήση του flux είναι ένας παράγοντας επιπλέον κόστους στην διαδικασία συγκόλλησης π.χ. κόστος αγοράς, αποθήκευσης, ελέγχου αποθέματος, καταστροφής κατάλοιπων κ.λ.π..

Υπολογίζοντας σε αυτά τα δεδομένα η Air Liquide εξελίσσει μια τεχνολογία με την επωνυμία ALIX STAR η οποία ουσιαστικά είναι συγκόλληση σε περιβάλλον πλάσματος Έτσι λοιπόν χρησιμοποιεί αέριο ή μίξεις αερίων τα οποία ενεργοποιούνται στο περιβάλλον χωρίς όμως να χρειάζονται χώροι ερμητικά κλεισμένοι όπου θα περιέχονται αυτά τα αέρια μόνον. Το Βασικότερο πλεονέκτημα από αυτή την διαδικασία θα είναι η παντελής απουσία καταλοίπων που οφείλονται στην συγκόλληση.

Το πρώτο πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε ήταν ότι τα γνωστά αέρια (O_2 , H_2 , N , CO_2) δεν ήταν αρκετά ενεργά σε θερμοκρασίες συγκόλλησης $250^\circ C$ για την απαιτούμενη διεργασία. Για την λύση του εφαρμόστηκε η ιδέα της ενεργοποίησής τους μέσω μιας ισχυρής ηλεκτρικής εκκένωσης.

Όμως για να είναι εφαρμόσιμο σε παραγωγική διαδικασία θα έπρεπε:

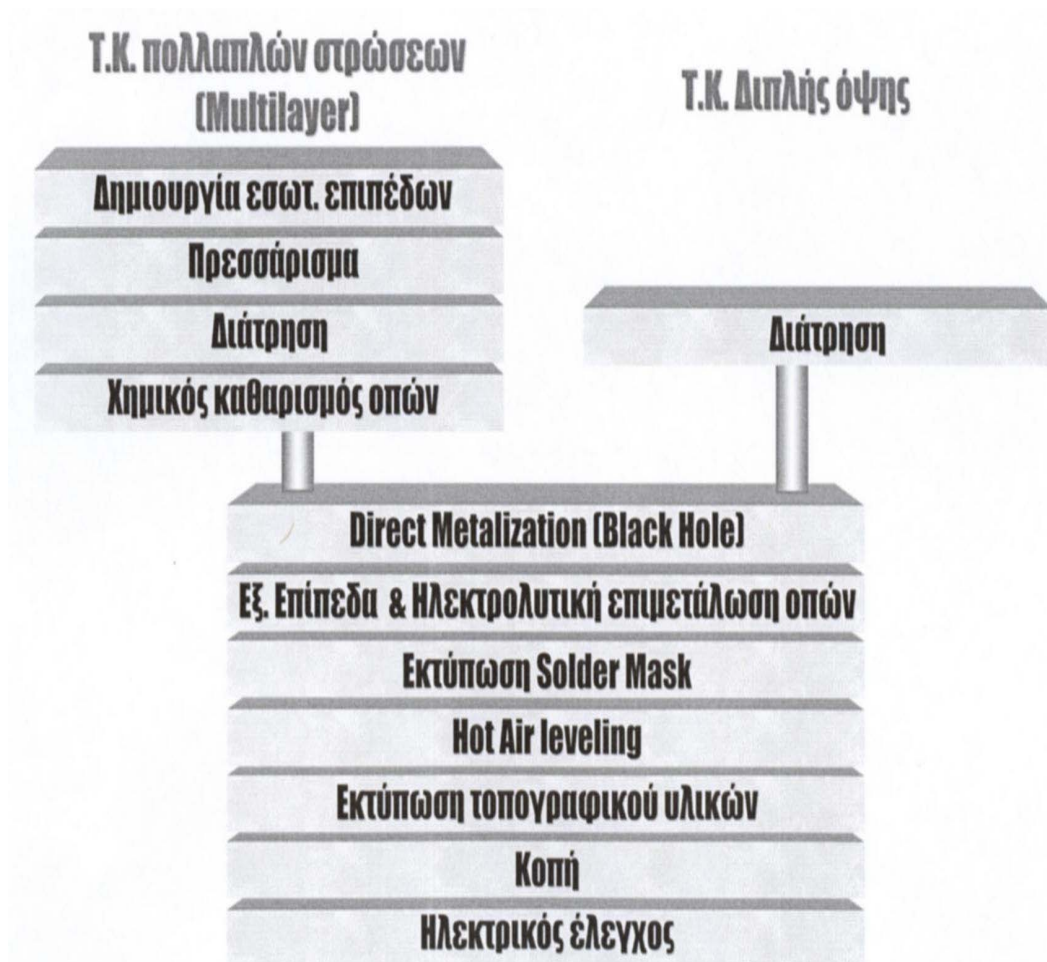
- α) να μην υπάρχει επαφή με το προϊόν
- β) Να μην υπάρχουν αντλίες κενού ή διαδικασία τέτοια που να τις απαιτεί αφού έχουν μεγάλο κόστος αλλά και μειώνουν την ταχύτητα.
- γ) Ο μηχανισμός ενεργοποίησης του αερίου θα πρέπει να είναι εύκολα προσαρμόσιμος σε συγκολλητική μηχανή που ήδη λειτουργεί σε γραμμή Παραγωγής

Έτσι σχεδιάστηκε ένας μικρός θάλαμος εκφόρτισης με δύο ηλεκτρόδια και -10 KV τάση, όπου ενεργοποιείται το αέριο και μετά διοχετεύεται με ατμοσφαιρική πίεση στο προς συγκόλληση προϊόν.

Στα πειράματα φάνηκε ότι χρειάζεται διπλάσια ποσότητα αερίου στην πάνω πλευρά για τα through hole υλικά, ενώ για την ώρα θεωρείται δεδομένο ότι πρέπει να υπάρχει ελεγχόμενο περιβάλλον (π.χ. αζώτου) με βασικό στοιχείο την κατά το δυνατόν απουσία οξυγόνου από το στάδιο αυτό μέχρι την συγκόλληση, αφού ο κίνδυνος για οξειδώσεις είναι πλέον πολύ μεγάλος.

Η μέθοδος αυτή δείχνει να είναι απόλυτα οικολογική, δεν αφήνει καθόλου κατάλοιπα πάνω στο PCB, είναι εύκολα εφαρμόσιμη σε ήδη υπάρχον μπάνιο, όμως απαιτεί περιβάλλον αζώτου με κατά το δυνατόν απουσία O_2 .

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ



Βασικό Υλικό

(π.χ. FR4 : Εποξική Ρητίνη, ενισχυμένη με ίνες γυαλιού, ενδεδυμένη με φύλλα Χαλκού)



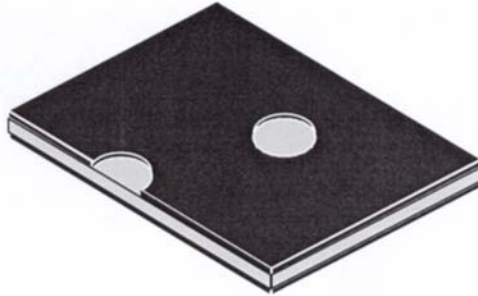
Πάνελ Παραγωγής

Τ.Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



Δημιουργία Εσωτ. Επιπέδων

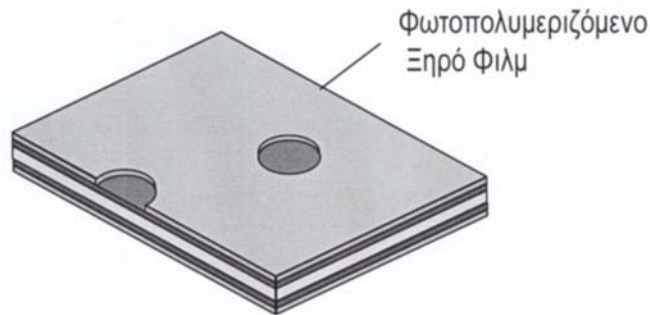
Πολυστρωματικά τ.κ.



- Αποχάλκωση
- Αφαίρεση Ξηρού Φιλμ
- Αυτόματος Οπτικός Έλεγχος
- Προετοιμασία Επιφάνειας (**oxide copper / double treated**)

Αποτύπωση Εσωτ. Επιπέδων

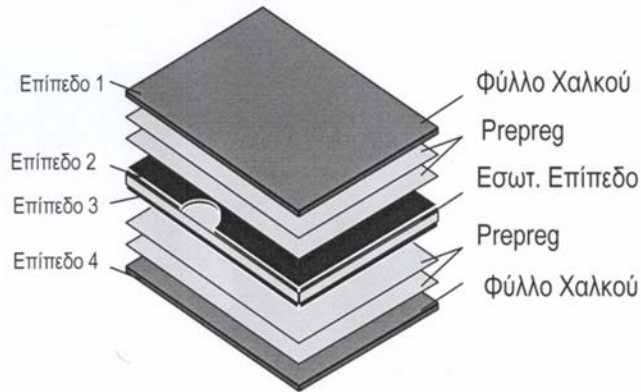
Πολυστρωματικά τ.κ.



- Επίστρωση Φωτοπολυμεριζόμενου Ξηρού Φιλμ
- Έκθεση σε **UV** ακτινοβολία
(αρνητικό φιλμ)
- Εμφάνιση – Αφαίρεση μη πολυμερισμένου ξηρού φιλμ
- Αυτόματος Οπτικός Έλεγχος (δειγματολ.)

Δημιουργία Πολυστρωματικού τ.κ.

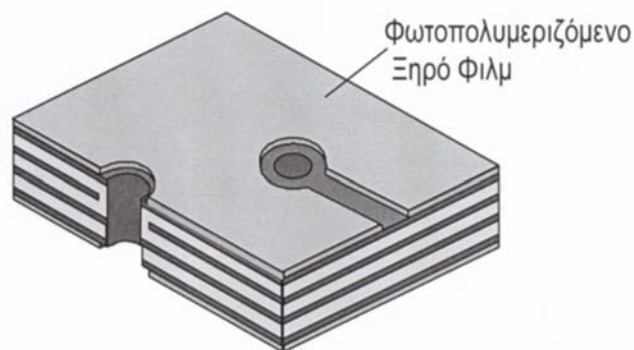
Πολυστρωματικά τ.κ.



- Προθέρμανση Εσωτ. Επιπέδων
- Δημιουργία Πολυστρωματικού τ.κ. (**Lay-up**)
- Πρεσσάρισμα
- Κοπή Πάanel Παραγωγής

Αποτύπωση Εξωτ. Επίπεδου

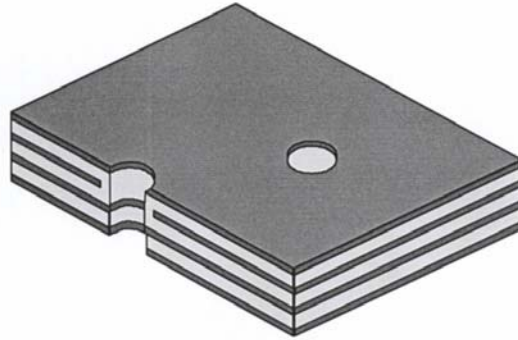
Τ. Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



- Επίστρωση Φωτοπολυμεριζόμενου Ξηρού Φιλμ
- Έκθεση σε **UV** ακτινοβολία (θετικό φιλμ)
- Εμφάνιση – Αφαίρεση μη πολυμερισμένου ξηρού φιλμ
- Αυτόματος Οπτικός Έλεγχος (δειγματολ.)

Διάτρηση

Τ.Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



- Διάτρηση Οπών Αναφοράς με τη βοήθεια Ακτίνων-Χ (MLBs)
- Διάτρηση
- Έλεγχος Διάτρησης, με τη βοήθεια Οπτικού Βοηθήματος ή Ακτίνων-Χ (MLBs)

Χημ. Καθαρισμός Οπών & Direct Metalization

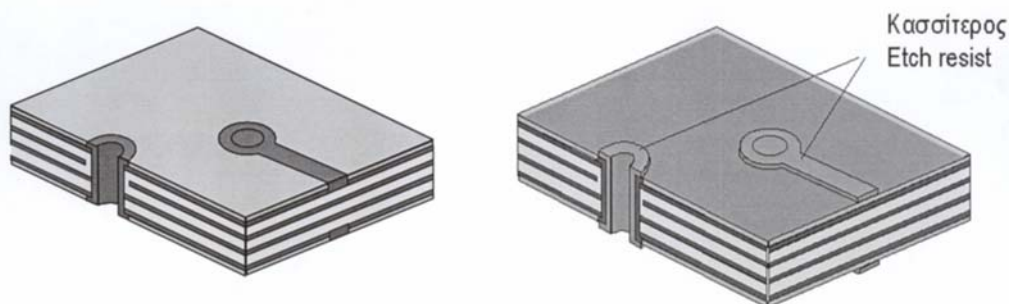
Τ.Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



- Μηχανικός Καθαρισμός με βούρτσα
- Χημικός Καθαρισμός των οπών (**Desmear & Etch-Back**) (MLBs)
- Μηχανικός Καθαρισμός με βούρτσα
- Εναπόθεση λεπτού στρώματος Γραφίτη στο εσωτερικό των οπών (**BlackHole**)

Ηλεκτρολυτική Επιχάλκωση - Επικασσιτέρωση

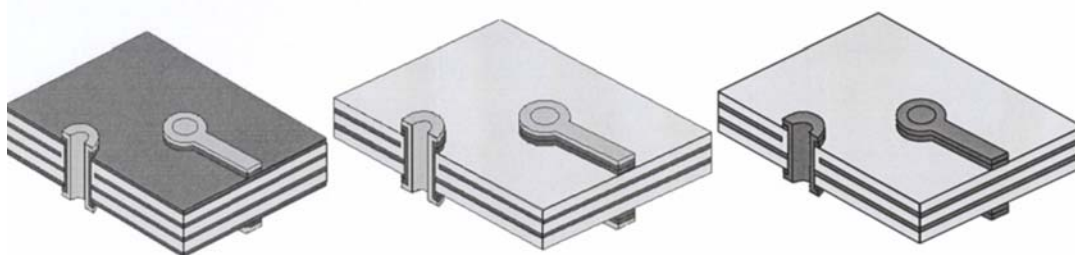
Τ.Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



- Ηλεκτρολυτική Εναπόθεση Χαλκού (min πάχος 20μm)
- Ηλεκτρολυτική Εναπόθεση Κασσίτερου (4-6 μm)

Αφαίρεση Ξηρού Φιλμ - Αποχάλκωση - Αφαίρεση Κασσίτερου

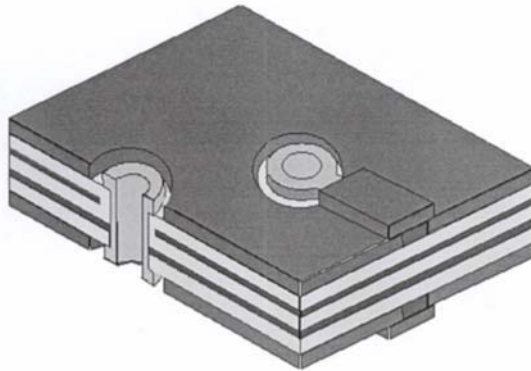
Τ.Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



- Αφαίρεση Ξηρού Φιλμ
- Αποχάλκωση
- Αφαίρεση Κασσίτερου
- Αυτόματος Οπτικός Έλεγχος

Φινίρισμα Επιφάνειας

Τ. Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



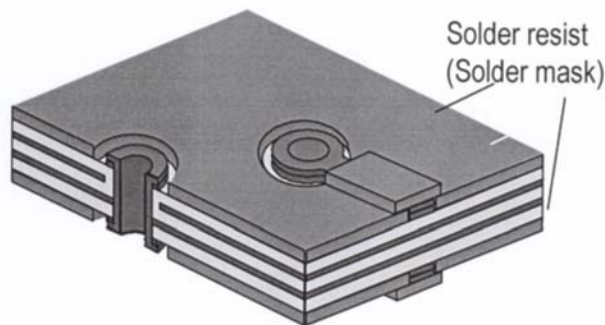
Φινίρισμα Επιφάνειας:
- Hot Air Solder Levelling
- Immersion Gold (Ni/Au)
- Immersion Tin
- ...

HOT AIR SOLDER LEVELLING:

- Χημικός Καθαρισμός της επιφάνειας του Χαλκού
- Εμβάπτιση σε Flux
- **Hot Air Solder Levelling**
- Μηχανικός Καθαρισμός για την απομάκρυνση υπολειμμάτων flux
- Οπτικός Έλεγχος

Εκτύπωση Solder Mask

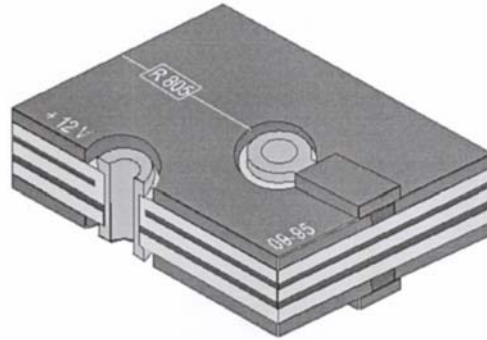
Τ. Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



- Χημικός Καθαρισμός της επιφάνειας του Χαλκού
- Μεταξοτυπική Επίστρωση Φωτοπολυμεριζόμενου Μελανιού **Solder Resist** στο πάνελ παραγωγής
- Θέρμανση
- Έκθεση σε UV Ακτινοβολία
- Εμφάνιση
- Οπτικός Έλεγχος
- Τελικός Θερμικός Πολυμερισμός

Εκτύπωση Τοπογραφικού Υλικών

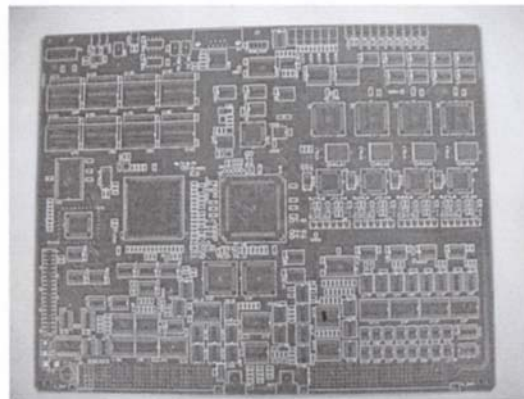
Τ. Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



- Μεταξοτυπική Επίστρωση Φωτοπολυμεριζόμενου Μελανιού **Marking** στο πάνελ παραγωγής
- Θέρμανση
- Έκθεση σε **UV** Ακτινοβολία
- Εμφάνιση
- Οπτικός Έλεγχος
- Τελικός Θερμικός Πολυμερισμός

Ολοκλήρωση Παραγωγής Τ.Κ.

Τ. Κ. 2 Επιπέδων & Πολυστρωματικά



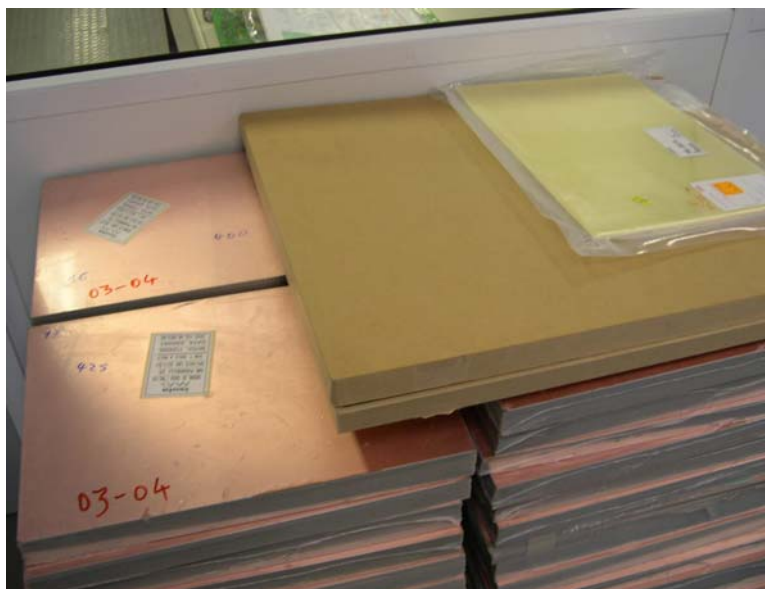
- Κοπή Εξωτερικού Περιγράμματος (**Routing**)
- Ηλεκτρικός Έλεγχος
- Τελικός Έλεγχος
- Πακετάρισμα - ΠΑΡΑΔΟΣΗ

ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ INTRACOM A.E.

Πρώτες ύλες

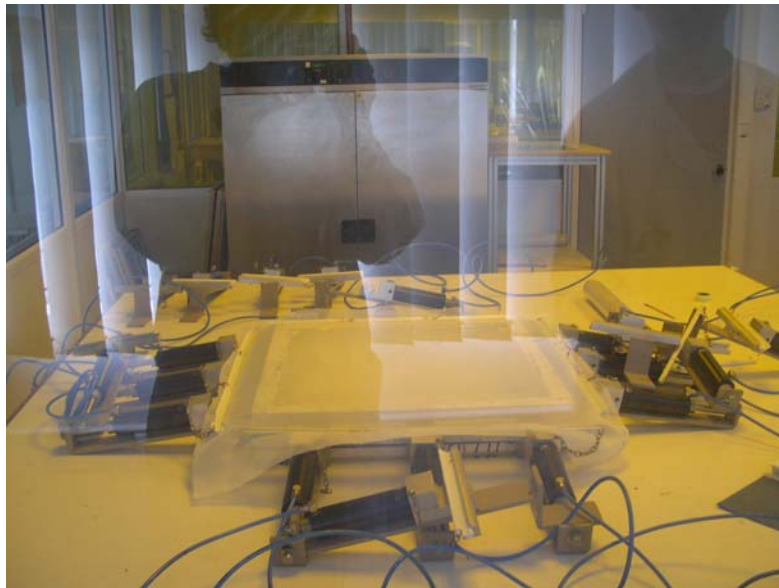
Τα pcb διακρίνονται σε μονοτυπωμενα, διπλής όψης και πολυστρωματικά. Τα μονής και διπλής όψης αποτελούνται από ένα ή δυο φύλλα χαλκού αντίστοιχα και ένα μονωτικό φύλλο. Το πάχος των φύλλων χαλκού είναι 1,6 ή 2 ή 2,4 χιλιοστά Τα πολυστρωματικά αποτελούνται από φύλλα χαλκού πάχους 0,2 0,3 0,51 0,55 0,75 χιλ. και ενδιάμεσες στρώσεις μονωτικών (prepreg). Και στις δυο παραπάνω περιπτώσεις το μονωτικό υλικό prepreg είναι 60 ή 85 ή 100 ή 180μm. Το prepreg φυλάσσεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και έχει 6 μήνες ζωής.

Για μικροκυματικά χρησιμοποιείται το υλικό roger 0,51 ή 0,81 χιλιοστά και χαλκός 18 και σπανίως 35μm.



Dry Film

Σε κάθε φύλλο χαλκού τοποθετείται, στη μηχανή laminator, ένας τύπος φιλμ που ονομάζεται dry film. Η διαδικασία γίνεται σε μηχανή φωτογράφησης με τη χρησιμοποίηση UV ακτινοβολίας. Τοποθετούμε τις κάρτες ανάμεσα από δυο πλάκες γυαλιού που έχει τοποθετηθεί το φιλμ και κατόπιν με τη UV ακτινοβολία έχουμε την αποτύπωση του φιλμ πάνω στο χαλκό.



Στα εσωτερικά επίπεδα το θέμα είναι αρνητικό ενώ στα εξωτερικά είναι θετικό. Το dry film αποτυπώνεται πριν την διαδικασίες πρεσαρίσματος και διάτρησης.

Πρεσάρισμα

Η δημιουργία των πολυστρωματικών pcb με την τοποθέτηση των prepreg και των φύλλων χαλκού σε panels που στη συνέχεια οδηγούνται στη μηχανή πρεσαρίσματος



Η μηχανή πρεσαρίσματος έχει δίωρο κύκλο λειτουργίας που κατά τη διάρκεια του έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας στους 140 °C και ταυτόχρονη πίεση του panel με απορρόφηση του εγκλωβισμένου στα διάφορα στρωματά αέρα. Κατά τη διαδικασία έχουμε το λιώσιμο του prepreg με αποτέλεσμα την κόλληση των διάφορων στρωμάτων . στη συνέχεια την σταδιακή ψύξη των panels.



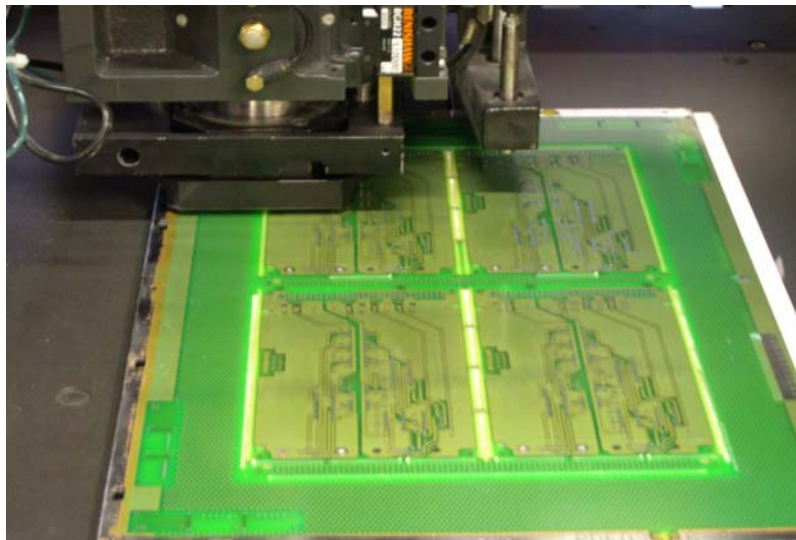
Στην παραπάνω φωτογραφία διακρίνεται η μηχανή πρεσαρίσματος HML και οι δυο θέσεις τοποθέτησης των panel.

Η όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ιδανικό δωμάτιο (clean room) με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και καθαρότητας αέρα.

Μηχανή κοπής και διάτρησης



Στη μηχανή που βλέπουμε στην πάνω φωτογραφία γίνεται η διάτρηση (αριστερή μηχανή) και η κοπή (δεξιά μηχανή) των PCBs. Μπορούμε να τοποθετήσουμε μέχρι τέσσερα panel ταυτόχρονα στην κάθε μια.



Στο τελικό στάδιο της κατασκευής των PCBs έχουμε την κοπή τους όπως φαίνεται στην παραπάνω φωτογραφία.

Η μηχανή οδηγείται από αρχεία που έρχονται από το cam , την κεντρική μονάδα έλεγχου και προγραμματισμού της γραμμής . Αφού η μηχανή πάρει τα δεδομένα, διατομή, μήκος, βάθος οπών κλπ. Κεντράρει τα PCBs βάσει συγκεκριμένων οπών που έχουν γίνει στη μηχανή μηδενισμού VISTA XR..

Για την διάτρηση διαθέτει 760 εργαλεία και ένα ελεγκτή **leizer** για την ορθότητα των διατρήσεων και την σωστή λειτουργία των εργαλείων.

Η ταχύτητα εξαρτάται από τα δεδομένα των οπών και είναι περίπου 10000 τρύπες ανά ώρα.

Διαθέτει ασανσέρ και rolling για την αυτόματη τοποθέτηση των καρτών.



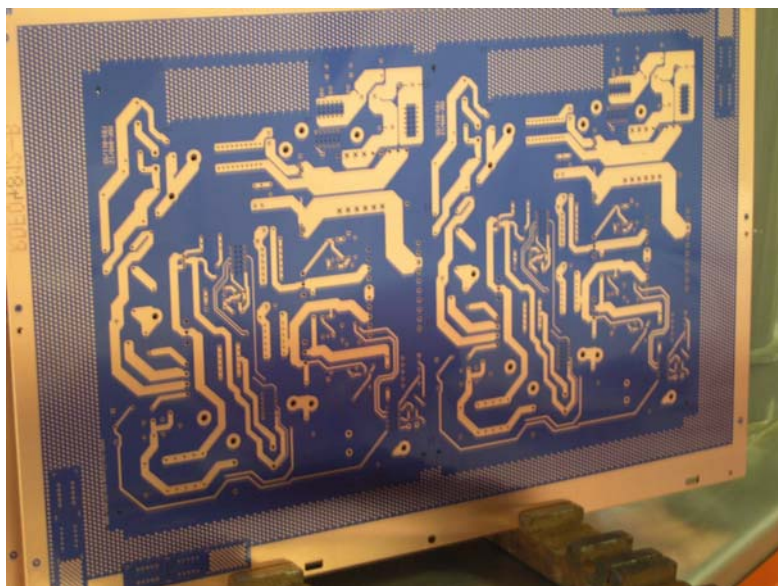
Όπως προαναφέραμε στην μηχανή VISTA XR ακτινογραφώντας την κάρτα κεντράρουμε τα σημεία οπών ενός αρχικού φιλμ, πάνω στην κάρτα, με σκοπό τη διάνοιξη δυο οπών αναφοράς που χρησιμοποιούνται για τη σωστή τοποθέτηση της κάρτας στη συνέχεια της διαδικασίας. Με τη χρήση των ακτινών X παρατηρούμε τα σημεία που θέλουμε να κάνουμε τις οπές αναφοράς σε ένα υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με τη μηχανή.



Η μηχανή vista xr. Δεξιά επάνω διακρίνεται καθαρά η οθόνη ελέγχου

Χημικός καθαρισμός οπών

Το επόμενο στάδιο μετά τη διάτρηση είναι ο χημικός καθαρισμός των οπών από διάφορα υπολείμματα και σκόνη που δημιουργήθηκαν στην μέχρι τώρα διαμόρφωση των καρτών. Η πλύση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές και από το σημείο αυτό και μετά πρέπει να υπάρχει προσεκτικότερη διαχείριση των pcb.



στην παραπάνω φωτογραφία παρατηρούμε μια κάρτα που μόλις έχει βγει από τον χημικό καθαρισμό

Blackhol

Με το χημικό καθαρισμό των καρτών εκτός από την απομάκρυνση των υπολειμμάτων τις διάτρησης πετυχαίνουμε και αύξηση της επιφάνειας της ρητίνης (διαδικασία *dismore*) πάνω στην οποία θα εφαρμοστεί ο γραφίτης (διαδικασία *blackhole*).

Ο γραφίτης βοηθάει στην εναποθέτηση χαλκού σε μετέπειτα διαδικασία με σκοπό την αγώγιμη ένωση των στρωμάτων και της επιφάνειας. Στην παρακάτω φωτογραφία παρατηρούμε τη μηχανή που γίνεται η τοποθέτηση του γραφίτη στις οπές.



Μηχανή επιχάλκωσης και επικασσιτέρωσης

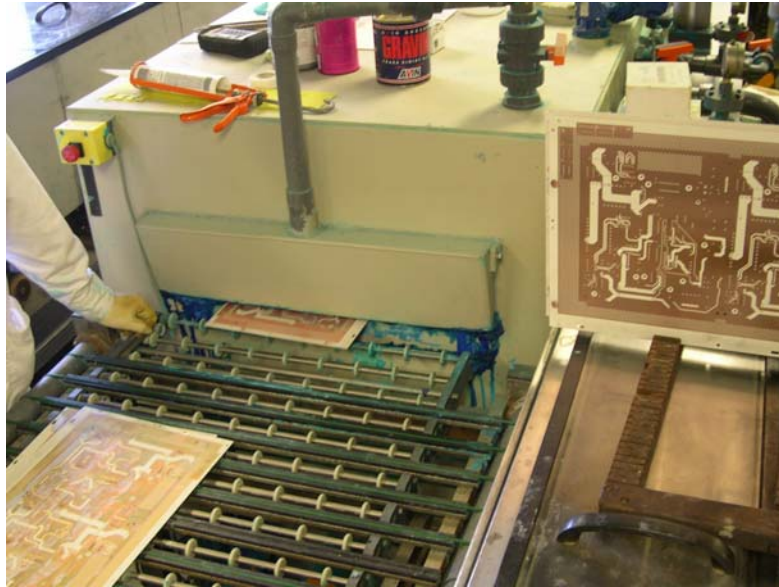


Σε περιθώριο 5 ημερών από την διαδικασία blackhole οι κάρτες οδηγούνται σε αυτή τη μηχανή και αφού στη πρώτη δεξαμενή καθαριστεί η κάρτα θα τοποθετηθεί χαλκός ηλεκτρολυτικά. Ο χρόνος διαμονής της κάρτας εξαρτάται από το πάχος του χαλκού που θέλουμε και η διαδικασία αυτή ορίζεται από το cam. Ανάλογα την επιφάνεια του pcb υπολογίζουμε το ρεύμα της ηλεκτρόλυσης το οποίο είναι περίπου 2 A/dm^2 .

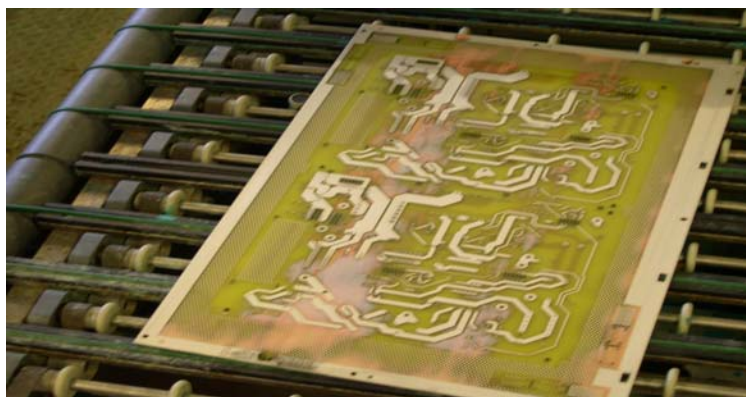
Σε ακόλουθη δεξαμενή κάνουμε επικασσιτέρωση ηλεκτρολυτικά που υπολογίζεται με την ίδια διαδικασία και είναι περίπου $1,5 \text{ A/dm}^2$.



Αποχάλκωση, αποκασιτέρωση και αφαίρεση Dry Film



Μετα την διαδικασία της επιμετάλλωσης ακολουθεί η αφαίρεση του dry film όπως βλέπουμε στην φωτογραφία (πάνω). Στη συνέχεια αποχάλκωση και αποκασιτέρωση των καρτών με αποτέλεσμα να μείνουν πάνω στην κάρτα οι αγωγοί και το μονωτικό υλικό. Αυτό γίνεται με τη χρησιμοποίηση διαφόρων χημικών διαλυμάτων τα οποία διαφέρουν από εταιρία σε εταιρία.



Στην παραπάνω φωτογραφία βλέπουμε την κάρτα μετά την αποχάλκωση όπου έχουν μείνει μόνο οι αγωγοί επικασσιτερωμένοι. Η επόμενη διαδικασία είναι να αφαιρέσουμε και τον κασσίτερο.

Μηχανή εκτύπωσης solder mask και τοπογραφικών υλικών

Αυτό είναι το τελικό στάδιο πριν την κοπή των καρτών και του ηλεκτρικού ελέγχου κατά το οποίο έχουμε στέγνωμα της κάρτας, τοποθέτηση solder mask και μεταξοτυπίας ένδειξης υλικών και ορίων κάρτας.

Αφού στεγνώσουμε την κάρτα σε μια μηχανή ζεστού αέρα απλώνουμε το solder mask και την βάζουμε σε ένα φούρνο που θα δούμε σε ένα άλλο κεφαλαίο. Αφήνουμε την κάρτα για 2 ώρες σε θερμοκρασία 100°C μέχρι να στερεοποιηθεί το solder mask.



Στη συνέχεια απλώνουμε το υλικό της μεταξοτυπίας στο panel, μπαίνει στο φούρνο για 30 λεπτά και στη συνέχεια φωτογραφίζεται με ένα φιλμ που θα αποτυπώσει τις πληροφορίες που θέλουμε να υπάρχουν πάνω στο pcb.

Τέλος αφού αφαιρεθεί το solder resist και το marking από τα σημεία κόλλησης γίνεται επίστρωση μολυβδοκασσίτερου στα σημεία αυτά.

Ηλεκτρικός έλεγχος



Είναι το τελικό στάδιο πριν φύγει η κάρτα για συναρμολόγηση. Υπάρχουν δυο τρόποι έλεγχου. Ο πρώτος μετράει κάθε αγωγό ωμικά και ο δεύτερος, μέθοδος discharge, φόρτιση εκφόρτιση πυκνωτή ο οποίος είναι 75% γρηγορότερος από τον ωμικό.

Η μηχανή έλεγχου διαθέτει 4 prob , δυο ανά πλευρά, και δυο κάμερες, μια ανά πλευρά. Το ένα prob οδηγείται στη γείωση και τη θεωρεί ένα πόλο του πυκνωτή και το άλλα τρία σε net. Φορτίζει – εκφορτίζει και υπολογίζει το χρόνο. Σε σύγκριση με κάποιους πρότυπους χρόνους η μηχανή αντιλαμβάνεται αν υπάρχουν προβλήματα.

Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας η κάρτα πλέον είναι έτοιμη να πάει στον τομέα της τοποθέτησης υλικών.

Μηχανές αυτόματης τοποθέτησης συμβατικών υλικών

Στον τομέα της αυτόματης τοποθέτησης συμβατικών υλικών χρησιμοποιούμε τριών τύπων μηχανές της **Universal**. Αυτές οι μήνες μας δίνουν τη δυνατότητα της γρήγορης και ασφαλούς τοποθέτησης εξαρτημάτων στο σωστό σημείο. Οι τρεις τύποι μηχανών είναι η **DIP**, η **RADIAL** και η **AXIAL**.

Και οι τρεις μηχανές έχουν παρόμοιο τρόπο λειτουργίας. Προγραμματίζονται από ένα κεντρικό υπολογιστή που χρησιμοποιεί το λογισμικό της κατασκευάστριας εταιρίας. Το σημείο που πρέπει να τοποθετηθεί το κάθε εξάρτημα δίνεται από τον χρήστη του κεντρικού υπολογιστή βάση συντεταγμένων (x-y) και η τοποθέτηση γίνεται αυτόματα. Σε περίπτωση που δεν τοποθετηθεί ή τοποθετηθεί στραβά τότε σταματάει αυτόματα η λειτουργία της μηχανής όποτε ο χειρίστης εξακριβώνει τι έχει συμβεί και σε ποιο σημείο δεν έχει γίνει σωστή τοποθέτηση του εξαρτήματος.



Η μηχανή **DIP** είναι αυτή που τοποθετεί τα ολοκληρωμένα πάνω στο τυπωμένο κύκλωμα και η ταχύτητα της είναι 2500 εξαρτήματα ανά ώρα. Οι συντεταγμένες δίνονται, όπως είδαμε και πιο πάνω, μέσω του προγράμματος της μηχανής.

Τα ολοκληρωμένα τα βάζουμε πρώτα σε κάποιες ειδικές θήκες τις οποίες ονομάζουμε στέκες λόγω του σχήματος τους. Κάθε τύπος ολοκληρωμένου μπαίνει σε ξεχωριστή στέκα και αφού γίνει αυτό τις φορτώνουμε στις προεπιλεγμένες θέσεις τους (| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |) που υπάρχουν στο πίσω μέρος της μηχανής.

Υπάρχουν δυο τύποι κεφαλών στο επάνω μέρος της μηχανής, μια για μικρά ολοκληρωμένα και μια για μεγάλα, οι οποίες πιάνουν και τοποθετούν το υλικό και δυο τύποι κεφαλών στο κάτω μέρος, και εδώ μια για μικρά και μια για μεγάλα, οι οποίες διαμορφώνουν και κόβουν τους ακροδέκτες για να υπάρχει μηχανική στήριξη.



Η μηχανή **AXIAL** τοποθετεί όλα τα αξονικά εξαρτήματα και η ταχύτητα της είναι 7000 εξαρτήματα ανά ώρα και χρησιμοποιείται ο ίδιος προγραμματισμός .

Πριν την τοποθέτηση τα υλικά πρέπει να μπουν σε μια ειδική μπομπίνα (tape) η οποία με τη σειρά της θα τοποθετηθεί στην ειδική θέση της επάνω στη μηχανή. Η διαδικασία της τοποθέτησης πάνω στην μπομπίνα γίνεται από μια

βοηθητική μηχανή η οποία ονομάζεται *SEAQUENCER*. Αυτή η μηχανή παίρνει τα υλικά και τοποθετεί πάνω στην μπομπίνα ανάλογα με τη σειρά τοποθέτησης.

Και στην *AXIAL* μηχανή υπάρχουν δυο κεφαλές στο πάνω μέρος που πιάνουν και τοποθετούν τα εξαρτήματα και δυο κεφαλές στο κάτω μέρος που κόβουν και διαμορφώνουν τους ακροδέκτες για μηχανική στήριξη.

Η μηχανή *RADIAL* τοποθετεί τα κάθετα υλικά με ταχύτητα 4500 εξαρτήματα ανά ώρα. Ο προγραμματισμός γίνεται και εδώ με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιούμε στην *DIP* και *AXIAL*.

Υπάρχει ενσωματωμένο *SEAQUENCER* στο πίσω μέρος της μηχανής. Αφού τοποθετήσει τα υλικά στην ειδική ταινία πηγαίνουν μηχανικά στην κύρια μηχανή.

Ακόμα υπάρχει και ένα σύστημα, *VERIFIER*, οποίο μετράει τις τιμές ορισμένων εξαρτημάτων και έτσι έχουμε τη δυνατότητα να ελέγξουμε την τιμή του υλικού αν είναι σωστή. Και εδώ υπάρχουν δυο κεφαλές στο πάνω μέρος που πιάνουν και τοποθετούν τα εξαρτήματα και δυο κεφαλές στο κάτω μέρος που κόβουν και διαμορφώνουν τους ακροδέκτες.

Χειρονακτική τοποθέτηση εξαρτημάτων

Πολλά εξαρτήματα είτε λόγω μεγέθους είτε για άλλους λόγους δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθούν στο PCB με τις μηχανές αυτόματης τοποθέτησης. Σε αυτή την περίπτωση τα εξαρτήματα μπαίνουν με το χέρι σε ειδικούς πάγκους που υπάρχουν πριν την μηχανή κυματικής συγκόλλησης.



Το προσωπικό παίρνει τις κάρτες, που ήδη έχουν πάνω τους τα περισσότερα εξαρτήματα, και αφού τοποθετήσει και διαμορφώσει τα υπόλοιπα εξαρτήματα τα εναποθέτει σε μια ταινία η οποία καταλήγει στη μηχανή συγκόλλησης.

Αξίζει να σημειώσουμε ότι όλοι οι πάγκοι είναι γειωμένοι και το προσωπικό φοράει αντιστατικά βραχιόλια για την καλύτερη προστασία της κάρτας.

Ακόμα ο κάθε πάγκος διαθέτει ειδικές θήκες στις οποίες είναι αποθηκευμένα τα εξαρτήματα που είναι προς τοποθέτηση. Οι θήκες αυτές μετακινούνται μηχανικά, πατώντας ένα κουμπί, για να έχει αυτός που κάνει την τοποθέτηση, πάντα μπροστά του το εξάρτημα που θέλει.

Wave Soldering Machine (Μηχανή κυματικής συγκόλλησης)

Η μηχανή κυματικής συγκόλλησης αποτελεί ένα γρήγορο και ασφαλές εργαλείο για την συγκόλληση συμβατικών υλικών στο τυπωμένο κύκλωμα. Παρακάτω βλέπουμε το μοντέλο της IEMME Sirio 400.



Η ταχύτητα του είναι μεταξύ 140cm/min μέχρι 200cm/min (conveyor speed). Χρειάζεται 2 ώρες για να επέλθει στην επιθυμητή θερμοκρασία, η οποία ρυθμίζεται από ένα controller που υπάρχει στο μπροστινό μέρος. Ακόμα με τον controller ρυθμίζουμε την θερμοκρασία του *sp* και των *preheaters*, την ταχύτητα (conveyor speed), τον τρόπο *fluxing*, την ώρα εκκίνησης της μηχανής και την κλίση της γέφυρας (*inclination*) από την οποία εξαρτάται ο χρόνος επαφής (*contact time*) της πλακέτας με το συγκολλητικό υγρό.

Η πλακέτα για να εισέλθει στη μηχανή συγκόλλησης τοποθετείται πάνω σε ένα πλαίσιο το οποίο είναι με τη σειρά του είναι τοποθετημένο πάνω στην αλυσίδα μεταφοράς που με τη βοήθεια ενός *moter* μεταφέρει το τυπωμένο

κύκλωμα στα στάδια της συγκόλλησης. Εισερχόμενη στη μηχανή ανεβαίνει πάνω σε δυο άξονες που ονομάζονται γέφυρα. Ρυθμίζοντας την κλίση της γέφυρας ρυθμίζουμε και τον χρόνο επαφής, ο οποίος για τη συγκεκριμένη μηχανή είναι 3 sec.



Η μηχανή κυματικής συγκόλλησης της αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- α) τον **fluxer**
- β) τους **preheaters**
- γ) το **solder pot**

α) Στον fluxer γίνεται ο καθαρισμός της πλακέτας με *flux* και η προετοιμασία για συγκόλληση. Αυτό μπορεί να γίνει με δυο τρόπους είτε με *foamer fluxing* είτε με *spray fluxing*, δηλαδή είτε το *flux* θα είναι σε μορφή αφρού είτε σε μορφή σπρέι.

Περνώντας η πλακέτα πάνω από το *fluxer* απομακρύνονται τυχόν σκουπίδια από την τοποθέτηση των υλικών ή άλλων παραγόντων και ταυτόχρονα απλώνεται το flux το οποίο βοηθάει στη συγκόλληση των εξαρτημάτων.

Στην έξοδο του fluxer υπάρχει το *ainknife* του πλεονάζοντος *flux*.

β) Στους preheaters γίνεται η προθέρμανση της κάρτας για την ελαχιστοποίηση του θερμικού σοκ από την επαφή της με το καλάι και γιατί βοηθάει για την ενεργοποίηση του *flux* εξατμίζοντας τους διαλύτες.

Υπάρχουν τρία στάδια προθέρμανσης: το πρώτο γίνεται με ζεστό αέρα στους 140 βαθμούς, το δεύτερο με αντιστάσεις στους 340 βαθμούς και το τρίτο πάλι με αντιστάσεις στους 360 βαθμούς.

γ) Στο *solder pot* δημιουργούνται δυο είδη κυμάτων συγκόλλησης. Το πρώτο είναι το *jet wave* και χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την συγκόλληση *smd* υλικών από την κάτω μεριά της κάρτας ενώ το δεύτερο είναι το *main wave* και χρησιμοποιείται για την συγκόλληση συμβατικών υλικών.

Στο *solder pot* μπορούμε να βάλουμε μέχρι και 600 κιλά κόλλησης.

Οπτικός έλεγχος και συγκόλληση υλικών με το χέρι

Αφού περάσουν οι κάρτες από την μηχανή συγκόλλησης καταλήγουν στον τομέα του οπτικού έλεγχου. Για τον οπτικό έλεγχο υπάρχουν ειδικοί πάγκοι που είναι εξοπλισμένοι με μικροσκοπία, μεγεθυντικούς φακούς, κολλητήρια κλπ. και αφού εντοπιστεί κάποιο σφάλμα διορθώνεται κατευθείαν από αυτόν που κάνει τον οπτικό έλεγχο. Σε περιπτώσεις που το πρόβλημα είναι πολύ σοβαρό η κάρτα πηαι στον σταθμό επισκευών που υπάρχουν περισσότερα εργαλεία για την επισκευή της.



Και αυτός που κάνει τον οπτικό έλεγχο και οι πάγκοι είναι γειωμένοι σε ένα κεντρικό σύστημα γείωσης.

Αφού γίνει οπτικός έλεγχος της κάρτας τοποθετούμε αν χρειάζεται και αλλά υλικά, τα οποία δεν είναι δυνατόν να συγκολληθούν με τη μηχανή κυματικής συγκόλλησης, όπως καλώδια, ψήκτρες κλπ.

Τέλος υπάρχει εξειδικευμένο προσωπικό που κάνει και ποιοτικό έλεγχο στις κολλήσεις που έχουν γίνει με το χέρι.

Zevac



Χρησιμοποιείται για την επισκευή καρτών που χρησιμοποιούν στη λειτουργία τους τεχνολογία *BGA*.

Το μηχάνημα αυτό λειτουργεί βάση προγραμμάτων τα οποία επιλέγουμε ανάλογα με το μέγεθος των υλικών και της κάρτας.

Ένα πρόγραμμα επισκευής *BGA* περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Προθέρμανση *PCB*
- Θερμικό σοκ υλικού και κάρτας
- Ζέσταμα υλικού και κάρτας
- Συγκόλληση ή αποσυγκόλληση υλικού *BGA*

Το συγκεκριμένο μηχάνημα της ZEVAC αποτελείται από:

- Μια βάση θερμάνσεως *PCB* στην οποία υπάρχει ένα μεταβλητό πλαίσιο συγκράτησης που τοποθετείται η κάρτα.
- Ένα βασικό σύστημα θέρμανσης των *BGA* (ζεστός αέρας) στο οποίο μπορούμε να τοποθετήσουμε διαφορετικές κεφαλές αναλόγως των διαστάσεων του υλικού.

- Ένα σύστημα οπτικών κατόπτρων τα οποία εστιάζουν στο σημείο τοποθέτησης του υλικού.
- Ένα μικροσκόπιο που μας βοηθάει στον έλεγχο όλης της διαδικασίας

Η τοποθέτηση της κάρτας, η αλλαγή κεφαλών και η διαμόρφωση του προγράμματος γίνεται από το χειριστή του μηχανήματος.

Έλεγχος ηλεκτρονικών προϊόντων χρησιμοποιώντας τεχνολογία X-ray

Αντικείμενο της διαδικασίας ελέγχου προϊόντων με ακτίνες “X” είναι:

- η πιστοποίηση των διεργασιών παραγωγής και η έγκαιρη διάγνωση τυχόν προβλημάτων τους
- η αξιολόγηση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων και η βελτίωσή της
- η διάγνωση μη ορατών προβλημάτων και διερεύνηση των αιτιών τους
- η συλλογή πληροφορίας και δημιουργία γνώσης, για την βελτίωση συγκεκριμένων διεργασιών



MXR-160

Το μηχάνημα MXR-160 είναι εξοπλισμένο με σύστημα ρυθμιζόμενου ταινιόδρομου, όπου μπορεί να δεχτεί κάρτες διαστάσεων μέχρι 16” x 18” (406mmx457mm).

Διαθέτει μια πηγή εκπομπής ακτίνων “X”, δηλ. μια λυχνία η οποία τροφοδοτείται με υψηλή τάση (max 160KV) και χαμηλό ρεύμα (max 1mA). Οι ακτίνες διαπερνούν το υπό εξέταση αντικείμενο, με αποτέλεσμα ο δέκτης (*image intensifier* και *camera*), να λαμβάνει την ακτινοβολία που εκπέμφθηκε, μείον την απόσβεση που προέκυψε κατά την πορεία της δια μέσου του εξεταζόμενου αντικειμένου. Η απόσβεση της ενέργειας είναι διαφορετική ανά τύπο υλικού και εξαρτάται βασικά από την εσωτερική δομή του. Έτσι το αποτέλεσμα έλεγχου π.χ. ενός BGA είναι ένα γκριζο χρώμα με μαύρες κηλίδες, όπου το γκριζο αντιπροσωπεύει την απόσβεση που προκαλεί το σώμα του υλικού (πλαστικό κ.λ.π.), και οι μαύρες κηλίδες τα *solder balls* (μολυβδοκασσίτερος).

Η απόσταση του αντικειμένου από τον *image intensifier* είναι σταθερή, ενώ από την λυχνία *X-ray (FOD)* μεταβαλλόμενη και έτσι καθορίζεται η μεγέθυνση της εικόνας (*FID/FOD*) του εξεταζόμενου αντικειμένου.

Για την ευκρίνεια της εικόνας, αλλά και για να διαπεραστεί ένα αντικείμενο από τις ακτίνες X, θα πρέπει να έχει δικές του συνθήκες τάσης και ρεύματος π.χ. 75KV, 30μΑ.

Για κάθε ελεγχόμενο πεδίο (*FOV= Field Of View*) είναι δυνατή η εκτέλεση μιας σειράς μετρήσεων οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στο εγχειρίδιο του μηχανήματος και αφορούν μετρήσεις για *voids*, *missing balls*, *ball diameters*, *short circuits*, κ.α.

Τα προϊόντα που χρήζουν ελέγχου X-ray χωρίζονται σε δυο κατηγορίες με βάση τον τρόπο ελέγχου των:

1. Έλεγχος προεπιλεγμένων σημείων
2. Έλεγχος του συνόλου των υλικών

Τα κριτήρια επιλογής για την ένταξη τους σε μια από τις παραπάνω κατηγορίες είναι:

- a. Η χρήση υλικών BGAs *pitch* =1,27mm
- b. Η χρήση υλικών BGAs *pitch* =1,00mm

- c. Η χρήση υλικών *BGAs pitch* <1,00mm
- d. Η χρήση πολλών υλικών *fine pitch* (<20 mils)
- e. Η χρήση υλικών π.χ. *connectors* όπου υπάρχει το ενδεχόμενο κακής συγκόλλησης.

Τα βήματα για αυτοματοποιημένο έλεγχο παρτίδας προϊόντων είναι τα εξής:

- Η προς έλεγχο κάρτα τοποθετείται στο συγκεκριμένο σημείο του ταινιόδρομου.
- Φορτώνεται και εκτελείται το πρόγραμμα έλεγχου της κάρτας.
- Μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος απενεργοποιείται η εκπομπή ακτινών, αφαιρείται η κάρτα και επαναλαμβάνεται ο κύκλος με νέα κάρτα.
- Στο τέλος του ελέγχου της παρτίδας αποθηκεύονται τα απολογιστικά στοιχεία της παρτίδας για περαιτέρω ανάλυση.

Πλυντήριο



Μηχανήματα που καθαρίζονται τα συναρμολογημένα τυπωμένα κυκλώματα. Ο καθαρισμός γίνεται με απιονισμένο νερό (απαιτείται απιονιστής νερού δικτύου) και χημικό υγρό καθαρισμού *flux*. Ο καθαρισμός απαιτείται σε όλα τα προϊόντα που αφορούν κυρίως αμυντικούς εξοπλισμούς. Η λειτουργία τους είναι πλύσιμο – ξέβγαλμα – στέγνωμα, όπως ακριβώς λειτουργεί ένα απλό πλυντήριο πιάτων.

Θερμοκρασιακοί θάλαμοι



Χρησιμοποιούνται για θερμοκρασιακή καταπόνηση των προϊόντων που θα λειτουργήσουν κάτω από ακραίες συνθήκες π.χ. ένα μικροκυματικό που θα στηθεί σε βουνό με θερμοκρασίες 50°C το καλοκαίρι και -20°C το χειμώνα. Δηλαδή έχουμε μια προσομοίωση των συνθηκών λειτουργίας αλλά σε χειρότερο βαθμό. Λειτουργεί σε εύρος θερμοκρασιών από -40°C έως 70°C. Τεστάρουμε την αντοχή των υλικών και των τυπωμένων κυκλωμάτων για την εξασφάλιση σωστής λειτουργίας στο πεδίο.

Testing

Είναι η διαδικασία κατά την οποία γίνεται ο γενικός έλεγχος ορθής λειτουργίας του προϊόντος. Είναι το τελευταίο στάδιο της γραμμής παραγωγής των προϊόντων.



Η διαδικασία του *testing* απαιτεί εξειδικευμένο *software* και *hardware* το οποίο κατασκευάζεται εξ' ολοκλήρου από την ίδια την εταιρία.

Τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

- a. Έλεγχος τροφοδοτικού
- b. *Boundary scan* (έλεγχος BGAs και ψηφιακών εξελιγμένων υλικών)
- c. *Download software*
- d. Λειτουργικός έλεγχος (*functional*)
Λειτουργία της κάρτας μέχρι ~80% του συνόλου λειτουργίας (παθητικά και ψηφιακά υλικά)
- e. *Assembly* της κάρτας σε επίπεδο συστήματος
- f. *Final test*
- g. Άμεση συσκευασία μαζί με τα παρελκόμενα (καλώδια, εγχειρίδια κλπ)

Επιπλέον προστασία καρτών

Κάρτες που δουλεύουν σε αντίξοο περιβάλλον (π.χ. καρτοδέκτης σε θάλασσα ή βουνό), καλύπτονται με βερνίκι προστασίας (*conformal coating*). Για την υγρασία χρησιμοποιούμε ακρυλικό, για τη θερμοκρασία σιλικόνη, για τον αέρα πολυουρεθάνη ενώ χρησιμοποιούνται εποξικά για γενική προστασία.

Standard

Όπως σε όλες τις βιομηχανίες, έτσι και στη βιομηχανία ηλεκτρονικών προϊόντων, δημιουργήθηκαν κάποια πρότυπα τα οποία καθορίζουν την παραγωγή, τον έλεγχο και την ποιότητα του προϊόντος. Ενδεικτικά δυο από αυτά είναι:

- J-STD-001C Requirements for soldered electrical and electronic assemblies
- IPC-A-610 Acceptability of electronic assemblies

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΩΝ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Ο εξοπλισμός της γραμμής παραγωγής απαιτεί την προσαρμογή στις τεχνικές απαιτήσεις και τις ικανότητες της κάθε εταιρίας. Είναι απαραίτητη η αυτοματοποίηση και η ενσωμάτωση των διάφορων μηχανών.

Οι τιμές που αναφέρουμε παρακάτω ενδείκνυνται για μικρού μεγέθους και προϋπολογισμού γραμμή παραγωγής και αναφέρονται στην εταιρία *LANTRONIC*.

Εξοπλισμός PCB	964.730€
Εξοπλισμός εργαστηρίου	25.340€
Αναλώσιμα & χημικά Τρυπάνια, κόπτες, πρώτες ύλες κλπ (υλικά για περίπου 1 χρόνο)	60.500€
Μηχανή απιονισμού νερού	21.450€
Μονάδα επεξεργασίας λυμάτων	45.670€
Εγκατάσταση, αρχή λειτουργίας και εκπαίδευση Εβδομάδα 1: εγκατάσταση (4 μηχανικοί) Εβδομάδα 2: αρχή λειτουργίας & εκπαίδευση(2 μηχανικοί) Εβδομάδα 3: (ύστερα από 2 εβδομάδες): εκπαίδευση(2 μηχανικοί)	26.450€
Έλεγχος εξοπλισμού / τεχνική υποστήριξη για 1 χρόνο από 2 μηχανικούς που θα έρθουν 4 φορές (διάρκειας διαμονής 1 εβδομάδα) μετά την πλήρη εγκατάσταση (δεν συμπεριλαμβάνονται τα έξοδα διαμονής)	28.500€
Έξοδα συσκευασίας και μεταφοράς	19.200€