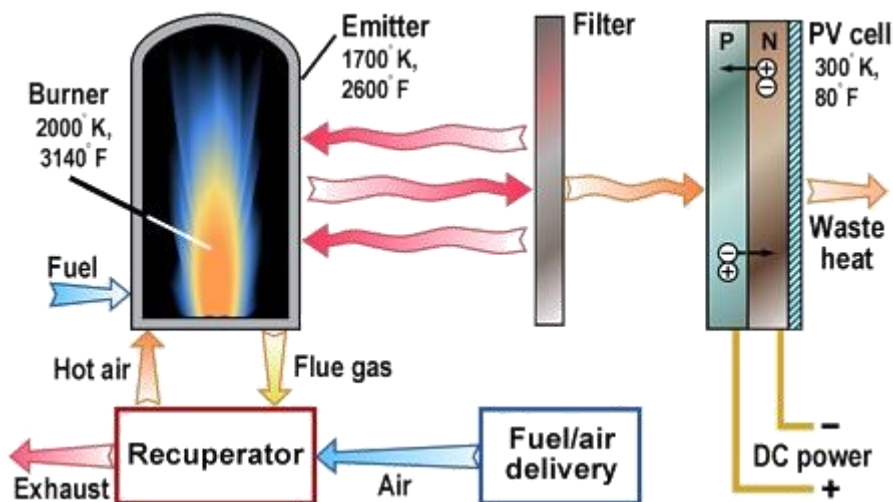




**ΤΕΙ Κρήτης**  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΚΟΜΙΝΗ ΙΩΑΝΝΗ**

**ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ  
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ  
ΘΕΡΜΟΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ  
(TRV) ΜΕ ΣΚΟΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΟΣ  
ΡΑΔΙΟΦΩΝΟΥ**



**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**  
**ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2014**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
2.0 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	4
2.1 ΘΕΩΡΙΑ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ.....	4
2.1.1 p-n Δίοδοι Συνδέσεων.....	4
2.1.2 Δυναμική των Ηλεκτρονίων και των Οπών.....	5
2.1.3 Ενεργειακή Πυκνότητα των Επιτρεπόμενων Καταστάσεων.....	7
2.1.4 Πυκνότητες των Ηλεκτρονίων και των Οπών.....	8
2.1.5 Απαγορευμένα Ενεργειακά Χάσματα.....	9
2.1.6 Ομοεπαφές-Ετεροεπαφές στους Ημιαγωγούς.....	11
2.2 ΗΛΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ.....	11
2.2.1 Συντελεστής Πλήρωσης.....	11
2.2.2 Φασματική Απόκριση.....	12
2.3 ΘΕΡΜΟΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (TRV).....	13
2.3.1 Υλικά.....	15
2.4 GaAs (Αρσενίδιο Γαλλίου).....	16
3.0 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	17
3.1 I-V ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ p-GaSb/n-GaAs Δείγματα Κυττάρων.....	18
3.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ p-GaSb/n-GaAs Δείγματα Κυττάρων.....	22
3.3 I-V ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ TRV ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΜΕ ΛΑΜΠΑ ΑΛΟΓΟΝΟΥ.....	24
3.4 I-V ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ TRV ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΜΕ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΠΑΡΑΦΙΝΗΣ.....	29
3.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ TRV ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	34
4.0 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	36
4.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	36
4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ.....	36
4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΑΚΥΠΤΟΥΝ.....	37
5.0 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	39
6.0 ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ.....	40
7.0 ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	41

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια είναι η ψυχή της σύγχρονης κοινωνίας. Είναι σημαντική για την ποιότητα της ζωής μας και στηρίζει την οικονομία. Καθώς βρισκόμαστε στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα οι ενεργειακές τεχνολογίες προσφέρουν μια δελεαστική υπόσχεση: καθαρή, άφθονη, ενέργεια συγκεντρωμένη από συνεχώς αυτό-ανανεώσιμες πηγές. Τέτοια τεχνολογία είναι τα Θερμοφωτοβολταϊκά κύτταρα (TPV).

Το συγκεκριμένο σχέδιο είναι μια μελέτη της χρήσης TPV κυττάρων για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από μιας υψηλής θερμοκρασίας θερμική πηγή. Αυτό γίνεται με την μετατροπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από θερμικές (μη-ηλιακές) πηγές σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας TPV κύτταρα. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε έναν καυστήρα παραφίνης σαν θερμική πηγή, κύτταρα Αρσενιδίου του Γαλλίου σαν TPV μετατροπείς και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει ένα ραδιόφωνο.

## 1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από θερμικές (μη-ηλιακές) πηγές σε ηλεκτρική ενέργεια έχει ονομαστεί Θερμοφωτοβολταϊκή παραγωγή ενέργειας. Είναι μια έννοια η οποία έχει διερευνηθεί για 3 δεκαετίες και έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί. Η θερμική σε ηλεκτρική απόδοση μετατροπής των TPV συστημάτων είναι χαρακτηριστικά χαμηλότερη από την προβλεφθείσα, επειδή η ευρυζωνική έξοδος από την θερμική πηγή δεν ταιριάζει με την φασματική απόκριση των ηλιακών κυττάρων που ήταν διαθέσιμα.

Οι πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά και στις τεχνικές για τη διαμόρφωση του φάσματος εξόδου μιας θερμικής πηγής, και η ικανότητα κατασκευής ηλιακών κυττάρων με προσαρμοσμένες φασματικές αποκρίσεις έχουν αλλάξει την κατάσταση δραματικά. Αρκετά σπάνια οξείδια της γης για παράδειγμα έχει αποδειχθεί ότι έχουν αλλάξει φασματικές κατανομές στα φάσματα εκπομπής τους. Η ακτινοβολία αλλάζει από την κανονική ευρείας ζώνης σε μια στενή γραμμή που επιβάλλεται σε ένα χαμηλό υπόβαθρο έντασης. Τα οξείδια αυτά που χρησιμοποιούνται με αυτόν τον τρόπο ονομάζονται εκλεκτικοί εκπομποί.

Οι θερμικές πηγές μπορεί να είναι χημικές (π.χ. μια φλόγα) ή πυρηνικές (αντιδραστήρες ή ραδιοϊσότοπα). Υπάρχουν εμπορικές εφαρμογές για όλες αυτές τις πηγές, αλλά το ενδιαφέρον είναι κυρίως στη χρήση των πηγών καύσης. Όλες οι εφαρμογές, ωστόσο, θα χρησιμοποιούν την ίδια βασική επιλογή πομπού-φίλτρο-ηλιακή τεχνολογία των κυττάρων, η επιλογή των οποίων θα εξαρτάται μόνο από το εύρος θερμοκρασιών που διατίθενται από την πηγή.

Οι αλλαγές στις κοινότητες και τις συνθήκες διαβίωσης που προκύπτουν από τη διαδεδομένη χρήση της ανανεώσιμης ενέργειας όπως τα TPV θα είναι βαθύτερες στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι σήμερα δεν έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό συμβάλλει στην πείνα, τη δίψα, την έλλειψη ιατρικών υπηρεσιών, την ανεπαρκή εκπαίδευση και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η TPV τεχνολογία θα φέρει τα οφέλη της ηλεκτρικής ενέργειας σε

αυτούς που βρίσκονται σε μειονεκτική θέση. Η μικρή, με πολλαπλό χαρακτήρα φύση των συστημάτων αυτών θα δημιουργήσει επίσης ευκαιρίες για τους επιχειρηματίες για την κατασκευή, πώληση και συντήρηση τους. Με την επιλογή των TPV συστημάτων αντί των συγκεντρωμένων συστημάτων ορυκτού καυσίμου, οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν την ευκαιρία να αποφύγουν πολλά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα και τις δαπάνες που έχουν μολύνει το βιομηχανοποιημένο κόσμο. Αντίθετα, μπορούν να επωφεληθούν από ένα παράθυρο οικονομικών και περιβαλλοντικών ευκαιριών όταν τα ηλιακά κύτταρα, τα φωτοβολταϊκά και κυρίως οι τεχνολογίες TPV αρχίζουν να επεκτείνονται.

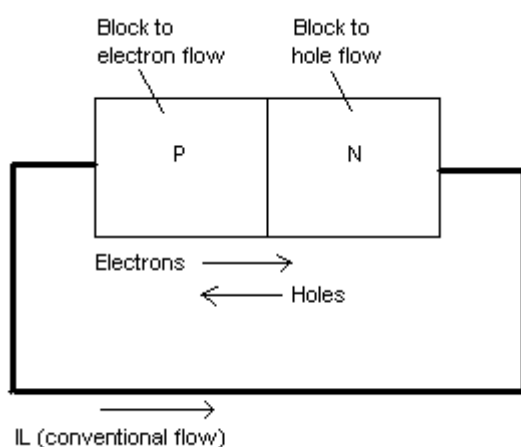
## 2.0 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1 Θεωρία Ημιαγωγών:

#### 2.1.1 p-n Δίοδοι Συνδέσεων:

Προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα τα ηλιακά κύτταρα, τα φωτοβολταϊκά και τελικά τα θερμοφωτοβολταϊκά χρειάζεται να γυρίσουμε πίσω εκεί από όπου όλα προέρχονται, τις p-n διόδους συνδέσεων.

Περιοχές ημιαγωγών ενισχυμένοι με προσμείξεις δότη έχουν έναν αυξημένο αριθμό ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας σε κανονικές θερμοκρασίες και είναι γνωστοί ως n-τύπου. Εκείνοι με προσμείξεις δεκτών είναι γνωστοί ως p-τύπου. Τα πιο κοινά ηλιακά κύτταρα είναι ουσιαστικά μια πολύ μεγάλη περιοχή p-n Διόδων Συνδέσεων, όπου μια τέτοια δίοδος σχηματίζεται με τη σύνδεση περιοχών n-τύπου και p-τύπου. Η βασική απαίτηση των συσκευών για τη μετατροπή της φωτοβολταϊκής ενέργειας είναι μια ηλεκτρονική ασυμμετρία στη δομή των ημιαγωγών. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ότι η δίοδος p-n έχει την απαιτούμενη ασυμμετρία:

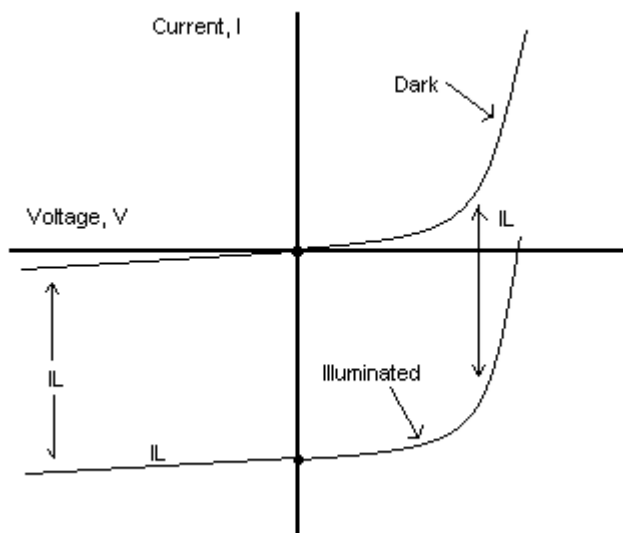


Εικόνα 2.1 Ασύμμετρες ιδιότητες μιας p-n δίοδου συνδέσεων

Η παραπάνω εικόνα δείχνει τις ασύμμετρες ιδιότητες της δίοδου. Αυτά προκαλούν μια καθαρή τρέχουσα ροή σε ένα εξωτερικό καλώδιο που συνδέει τις περιοχές p-τύπων και n-τύπων όταν φωτίζεται η σύνδεση.

Οι n-τύπου περιοχές έχουν μεγάλες πυκνότητες ηλεκτρονίων αλλά μικρές πυκνότητες οπών. Ως εκ τούτου, τα ηλεκτρόνια διατρέχουν εύκολα τέτοια υλικά αλλά οι τρύπες

το βρίσκουν πολύ δύσκολο. Ακριβώς το αντίθετο ισχύει για το υλικό p-τύπου. Όταν φωτίζονται, περίσσεια ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής δημιουργούνται από το φως σε όλο το υλικό. Η εγγενής ασυμμετρία στις ιδιότητες μεταφοράς φορέων ενθαρρύνει μια ροή των παραγόμενων ηλεκτρονίων που δημιουργούνται από την περιοχή p-τύπου προς την n-τύπου, και μια ροή των οπών στην αντίθετη κατεύθυνση. Όταν η φωτισμένη σύνδεση p-n είναι ηλεκτρικά βραχυκυκλωμένη, ένα ρεύμα θα περάσει στο βραχυκυκλωμένο καλώδιο. Αυτό το ελαφρώς-παραγόμενο ρεύμα επιβάλλεται επάνω στα χαρακτηριστικά της κανονικής διόδου ανόρθωσης ώστε να δώσει μία περιοχή λειτουργίας όπου η ισχύς μπορεί να εξαχθεί από το κύτταρο. Αυτό υποδεικνύεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2.2: Ελαφρώς παραγόμενο ρεύμα

## 2.1.2 Δυναμική των Ηλεκτρονίων και των Οπών:

Η κίνηση των ηλεκτρονίων και οπών στους ημιαγωγούς σε απάντηση στις εφαρμοζόμενες δυνάμεις διαφέρει από εκείνη των μορίων στον ελεύθερο χώρο. Πέραν της εφαρμοζόμενης δύναμης, υπάρχει πάντα η επίδραση των περιοδικών δυνάμεων των ατόμων κρυστάλλου. Εντούτοις, τα αποτελέσματα των κβαντικών μηχανικών υπολογισμών δείχνουν ότι, οι έννοιες που αναπτύσσονται για τα μόρια στον ελεύθερο χώρο μπορούν να εφαρμοστούν στα ηλεκτρόνια και τις οπές στους ημιαγωγούς, με μερικές τροποποιήσεις.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση των ηλεκτρονίων σε έναν κρύσταλλο που βρίσκονται εντός της ζώνης αγωγιμότητας, ο νόμος του Newton γίνεται ως εξής:

$$F = m_e^* a = \frac{dp}{dt}$$

όπου  $F$  είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη,  $m_e^* a$  "αποτελεσματική μάζα" του ηλεκτρονίου η οποία ενσωματώνει την επίδραση της περιοδικής ισχύος των ατόμων πλέγματος, και το  $p$  είναι γνωστή ως η δυναμική κρυστάλλου ανάλογη της ορμής ελεύθερου χώρου.

Για ελεύθερα ηλεκτρόνια, η ενέργεια και η ορμή σχετίζονται από έναν παραβολικό νόμο:

$$E = \frac{p^2}{2m}$$

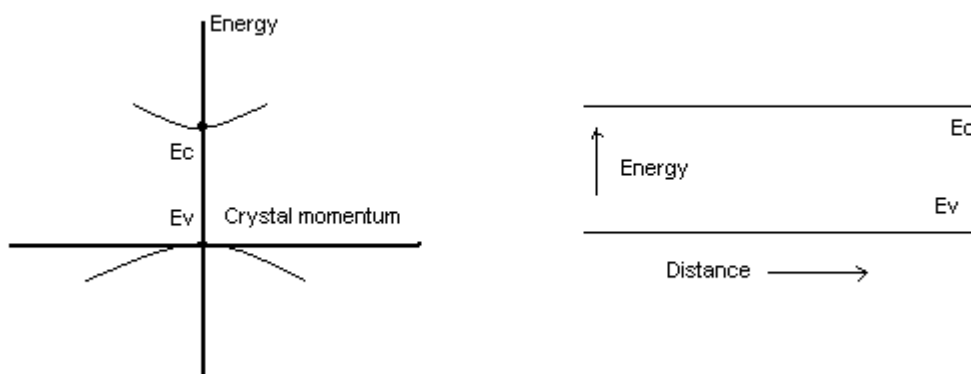
Για τους φορείς στους ημιαγωγούς, η κατάσταση μπορεί να είναι πιο περίπλοκη. Σε ορισμένους ημιαγωγούς, ένας ανάλογος νόμος ισχύει και για τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας σε ενέργειες κοντά στο ελάχιστο  $E_c$ , σε αυτή τη ζώνη:

$$E - E_c = \frac{p^2}{2m_e^*}$$

Μια παρόμοια σχέση ισχύει για τις τρύπες κοντά στη μέγιστη ενέργεια  $E_u$ , στη ζώνη σθένους:

$$E_u - E = \frac{p^2}{2m_h^*}$$

Οι προηγούμενες σχέσεις αναφέρονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2.3: Σχέσεις ορμής ενέργειας-κρυστάλλου για τα ηλεκτρόνια



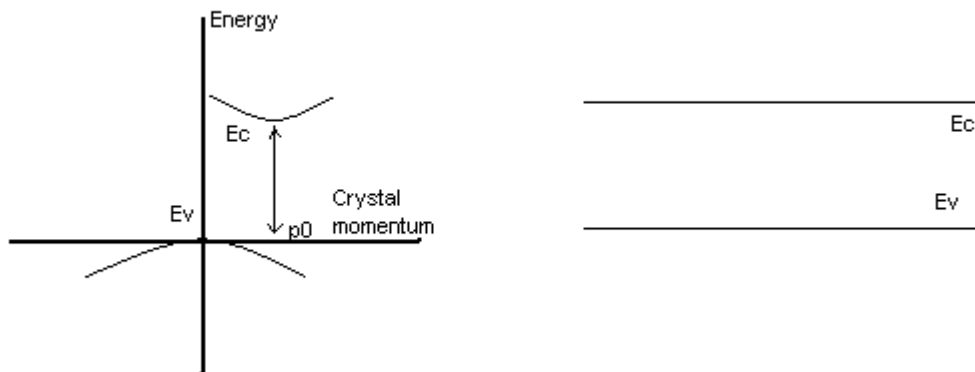
Τέτοιοι ημιαγωγοί είναι γνωστοί ως άμεσου χάσματος ημιαγωγοί, και ο πιο σημαντικός τεχνολογικά είναι ο σύνθετος ημιαγωγός GaAs (Αρσενίδιο του Γαλλίου). Σε άλλους ημιαγωγούς, το ελάχιστο κενό της ζώνης αγωγιμότητας μπορεί να είναι πεπερασμένο της ορμής του κρυστάλλου, υπακούοντας σε μια σχέση:

$$E - E_c = \frac{(p - p_0)^2}{2m_e^*}$$

Η ζώνη σθένους μπορεί να εμφανίζει μια παρόμοια σχέση:

$$E_v - E = \frac{(p - p'_0)^2}{2m_h^*}$$

Εάν το  $p_0 = p'_0$  ο ημιαγωγός λέγεται άμεσου χάσματος ενώ αντίθετα αν το  $p_0 \neq p'_0$  λέγεται έμμεσου χάσματος. Οι πιο κοινοί στοιχειώδεις ημιαγωγοί Ge (Γερμάνιο) και Si (Πυρίτιο) είναι και οι δυο έμμεσου χάσματος ημιαγωγοί. Σε κάθε περίπτωση  $p'_0 = 0$  αλλά το  $p_0$  είναι πεπερασμένο. Μια τέτοια κατάσταση φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 2.4: Σχέσεις ορμής ενέργειας - κρυστάλλου για έναν ημιαγωγό έμμεσου χάσματος

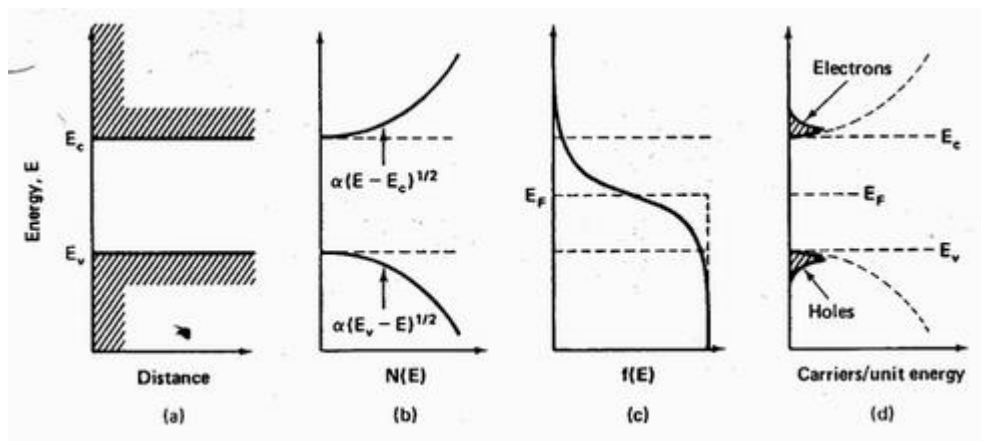
### 2.1.3 Ενεργειακή Πυκνότητα των Επιτρεπόμενων Καταστάσεων:

Ο αριθμός των επιτρεπόμενων καταστάσεων ανά μονάδα όγκου σε έναν ημιαγωγό είναι προφανώς μηδέν για τις ενέργειες που αντιστοιχούν στο απαγορευμένο χάσμα και μη μηδενικός στις επιτρεπόμενες ζώνες. Για τις ενέργειες κοντά στις άκρες των επιτρεπόμενων ζωνών όπου οι φορείς μπορούν να αντιμετωπιστούν ομοίως με τους ελεύθερους φορείς ο αριθμός των επιτρεπόμενων καταστάσεων ανά μονάδα όγκου

και ενέργειας  $N(E)$ , σε μία ενέργεια  $E$  κοντά στην άκρη της ζώνης αγωγιμότητας δίνεται από τη σχέση:

$$N(E) = \frac{8\sqrt{2}\pi n_e^{*3/2}}{h^3} (E - E_c)^{1/2}$$

όπου  $h$  είναι η σταθερά του Planck. Μια παρόμοια έκφραση ισχύει και για ενέργειες κοντά στην άκρη της ζώνης σθένους. Αυτοί οι διανομείς των επιτρεπόμενων καταστάσεων φαίνονται παρακάτω στο σχήμα 2.5(b):



Εικόνα 2.5: (a) Αντιπροσώπευση ζωνών ενός ημιαγωγού. (b) Αντίστοιχη ενεργειακή πυκνότητα των επιτρεπόμενων καταστάσεων για τα ηλεκτρόνια.. (c) Πιθανότητα κατοχής των καταστάσεων. (d) Προσκόπτουσα κατανομή της ενέργειας των ηλεκτρονίων και των οπών.

### 2.1.4 Πυκνότητες των Ηλεκτρονίων και των Οπών:

Γνωρίζοντας την πυκνότητα των επιτρεπόμενων καταστάσεων και την πιθανότητα της κατοχής των καταστάσεων αυτών, είναι τώρα δυνατό να υπολογιστεί η πραγματική κατανομή της ενέργειας των ηλεκτρονίων και των οπών. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σχηματικά στην εικόνα 2.5. Εξ αιτίας της φύσης της συνάρτησης κατανομής του Fermi-Dirac, τα περισσότερα από τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στη ζώνη σθένους είναι συγκεντρωμένα κοντά στις άκρες των ζωνών. Ο συνολικός αριθμός σε κάθε ζώνη μπορεί να βρεθεί με εκτέλεση ενός ολοκληρώματος. Έτσι, ο αριθμός των ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας ανά μονάδα όγκου του κρυστάλλου,  $n$ , δίνεται από τη σχέση:

$$n = N_c e^{(E_f - E_c)/kT}$$

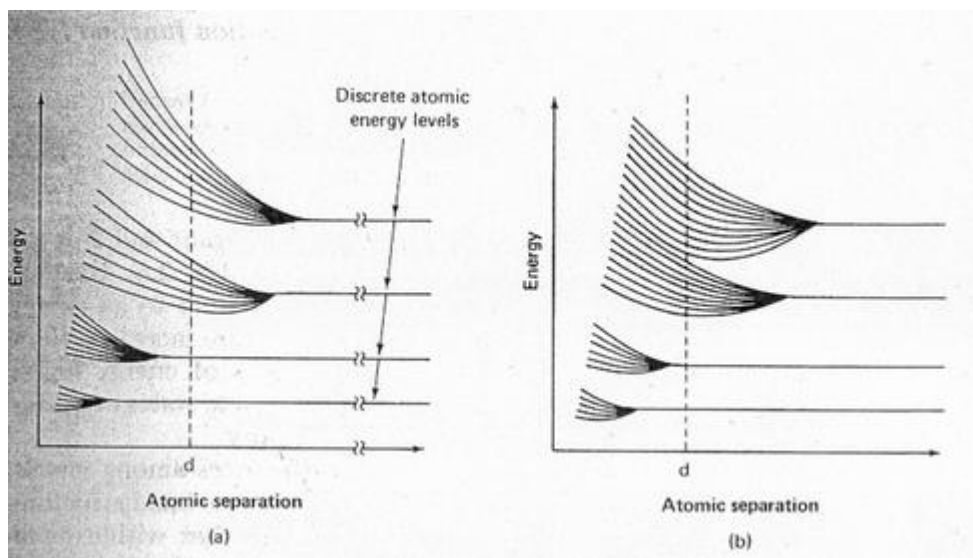
όπου  $N_c$  είναι μια σταθερά με σταθερό  $T$  γνωστή ως αποτελεσματική πυκνότητα των καταστάσεων στη ζώνη αγωγιμότητας. Ομοίως, ο συνολικός αριθμός των οπών στη ζώνη σθένους ανά μονάδα όγκου του κρυστάλλου δίνεται από τη σχέση:

$$p = N_v e^{(E_v - E_f)/kT}$$

με  $N_v$ , η αποτελεσματική πυκνότητα των καταστάσεων στη ζώνη σθένους.

### 2.1.5 Απαγορευμένα Ενεργειακά Χάσματα:

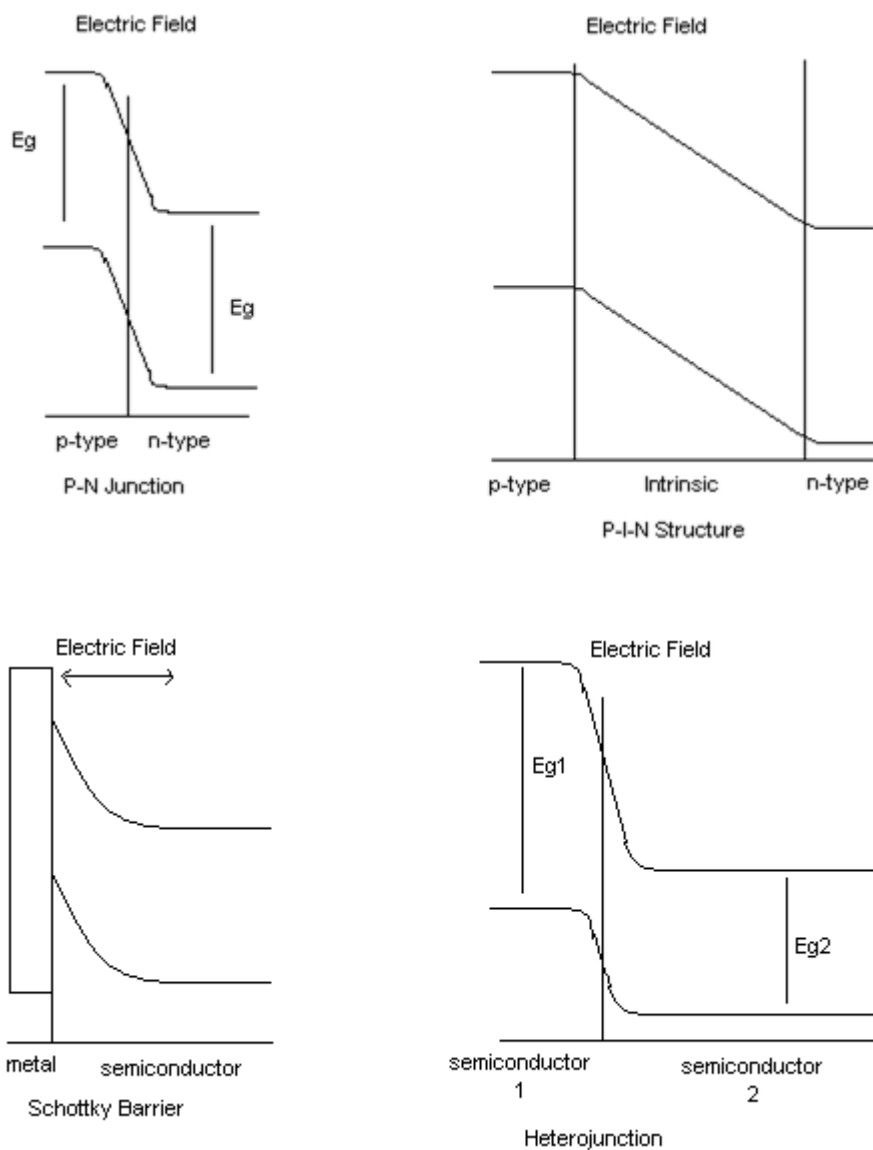
Ένα ηλεκτρόνιο σε ελεύθερο χώρο έχει ουσιαστικά ένα συνεχές εύρος τιμών ενέργειας που μπορεί να επιτύχει. Η κατάσταση σε έναν κρύσταλλο μπορεί να είναι αρκετά διαφορετική. Ηλεκτρόνια που συνδέονται με μεμονωμένα άτομα έχουν μια καλά καθορισμένη σειρά διακριτών επιπέδων ενέργειας στη διάθεσή τους. Καθώς τα περισσότερα άτομα έρχονται πιο κοντά, τα αρχικά επίπεδα απλώνονται σε ζώνες της επιτρεπόμενης ενέργειας, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6. Όταν τα άτομα είναι στις διαταγμένες ρυθμίσεις όπως στα κρύσταλλα, θα υπάρξουν χαρακτηριστικές αποστάσεις μεταξύ τους. Η εικόνα 2.6(a) δείχνει την περίπτωση ενός κρυστάλλου, όπου ο χαρακτηριστικός διαχωρισμός μεταξύ των ατόμων,  $d$ , είναι τέτοια ώστε ο κρύσταλλος έχει ζώνες ενέργειας που επιτρέπουν στα ηλεκτρόνια να χωρίζονται από τις ζώνες της απαγορευμένης ενέργειας. Μια διαφορετική κατάσταση παρουσιάζεται στην εικόνα 2.6 (b), όπου οι ζώνες έχουν επικαλυφτεί για να δώσουν ουσιαστικά μια συνέχεια της επιτρεπόμενης ενέργειας στην τιμή του  $d$  χαρακτηριστικό ενός διαφορετικού κρυσταλλικού υλικού.



Εικόνα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση που δείχνει πως οι διακριτές ενέργειες επέτρεψαν στα ηλεκτρόνια σε ένα απομονωμένο άτομο να χωριστεί σε ζώνες επιτρεπόμενων ενεργειών όταν ένας αριθμός παρόμοιων ατόμων συγκεντρώνονται σε ένα κρύσταλλο.

## 2.1.6 Ομοεπαφές – Ετεροεπαφές στους Ημιαγωγούς:

Η λειτουργία των ηλιακών κυττάρων είναι βασισμένη στο σχηματισμό μιας σύνδεσης. Διάφορα παραδείγματα των συνδέσεων παρουσιάζονται παρακάτω:



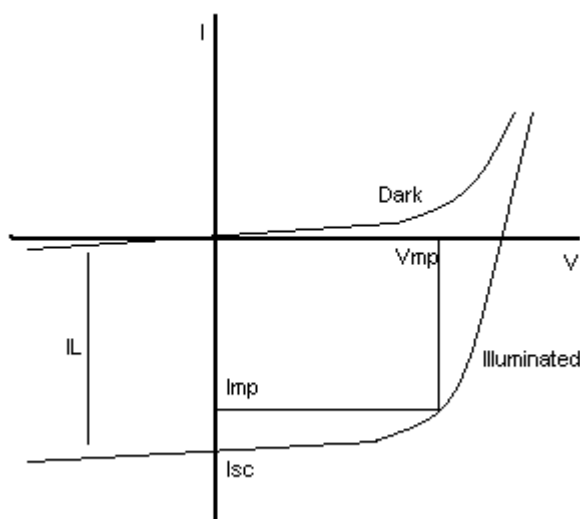
Εικόνα 2.7: Διάγραμμα ζωνών για τις συνδέσεις ημιαγωγών.

Ο πιο απλός είναι μια σύνδεση p-n, μια διεπαφή μεταξύ των περιοχών n και p ενός ημιαγωγού. Ένα στρώμα του εγγενούς υλικού ενσωματώνεται μερικές φορές μεταξύ των περιοχών n και p τύπου, με αποτέλεσμα μια ευρύτερη ζώνη μετάβασης. Σε αντίθεση με τις ομοεπαφές, μια ετεροεπαφή σχηματίζεται από δύο διαφορετικούς ημιαγωγούς. Σημειώστε τη διαφορά στις κενές ζώνες στις δύο πλευρές του κόμβου.

## 2.2 Ηλιακά Κύτταρα:

### 2.2.1 Συντελεστής Πλήρωσης:

Τρεις παράμετροι χρησιμοποιούνται συνήθως για να χαρακτηρίσουν την απόδοση των ηλιακών κυττάρων και φαίνονται στο σχήμα παρακάτω:



Εικόνα 2.8: Τελικές ιδιότητες μιας διόδου συνδέσεων p-n στο σκοτάδι και όταν φωτίζεται.

Μια από αυτές είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης,  $I_{sc}$ . Ιδανικά αυτό είναι ίσο με το ελαφρώς παραγόμενο ρεύμα  $I_L$ . Μια δεύτερη παράμετρος είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος,  $V_{oc}$ . Ρύθμιση του  $I$  σε μηδέν με την ακόλουθη εξίσωση:

$$I = I_0(e^{qV/kT} - 1) - I_L$$

δίνει την ιδανική τιμή:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right)$$

Το  $V_{oc}$  καθορίζεται από τις ιδιότητες του ημιαγωγού δυνάμει της εξάρτησής του  $I_0$ . Η ισχύς εξόδου για κάθε σημείο λειτουργίας στο τέταρτο τεταρτημόριο είναι ίση με την περιοχή του ορθογωνίου που αναφέρεται στο παραπάνω σχήμα. Ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας ( $V_{mp}$ ,  $I_{mp}$ ) θα μεγιστοποιήσει αυτήν την ισχύ. Η τρίτη παράμετρος, ο συντελεστής πλήρωσης (FF), ορίζεται ως εξής:

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}}$$

Για κύτταρα με λογικό βαθμό απόδοσης έχει μια τιμή στο εύρος από 0.7 ως 0.85.

Ιδανικά είναι μια συνάρτηση μόνο της τάσης ανοιχτού κυκλώματος,  $V_{oc}$ .

Η ενεργειακή απόδοση της μετατροπής,  $n$ , δίνεται από την σχέση:

$$n = \frac{V_{mp} I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}}$$

όπου  $P_{in}$  είναι η συνολική δύναμη του φωτός που προσπίπτει στο κύτταρο.

## 2.2.2 Φασματική Απόκριση:

Η φασματική απόκριση ενός κυττάρου είναι το ρεύμα εξόδου σε βραχυκύκλωμα ανά μονάδα προσπίπτουσας ισχύος σε μονοχρωματικό φως ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Μέτρηση της φασματικής απόκρισης μπορεί να παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τις παραμέτρους σχεδιασμού του οποιοδήποτε συγκεκριμένου ηλιακού κυττάρου.

Το μονοχρωματικό φως προκαλεί ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής που θα παραχθούν στον ημιαγωγό με μια χωρική κατανομή που δίνεται από τη σχέση:

$$G = (1-R) \alpha N e^{-\alpha x}$$

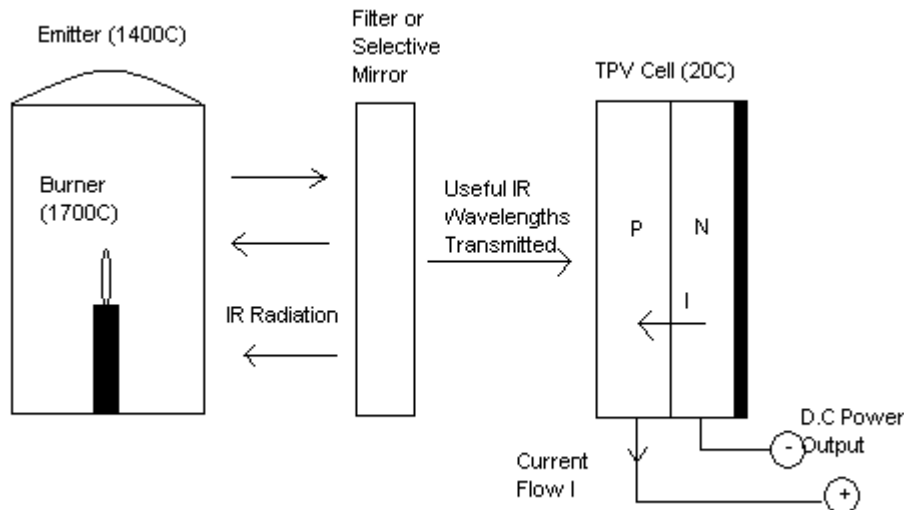
όπου  $N$  είναι η προσπίπτουσα ροή φωτονίων,  $R$  το κλάσμα που ανακλάται, και  $\alpha$  ο συντελεστής απορρόφησης. Για μικρά μήκη κύματος (υπεριώδες φως), το  $\alpha$  είναι μεγάλο και το φως απορροφάται γρήγορα καθώς εισέρχεται στον ημιαγωγό. Τα

συνηθισμένα ηλιακά κύτταρα δεν είναι πολύ αποτελεσματικά στη συλλογή του φωτός που παράγεται κοντά στην επιφάνεια. Μια κβαντική απόδοση συλλογής  $\eta_q$  ορίζεται ως ο αριθμός των ηλεκτρονίων που ρέουν στο εξωτερικό βραχυκυκλωμένο καλώδιο ανά προσπίπτον φωτόνιο σε μονοχρωματικό φως. Σε ενδιάμεσα μήκη κύματος, το  $\eta_q$  είναι μικρότερο σε αξία και ένα μεγάλο ποσοστό των παραγόμενων φορέων δημιουργούνται σε περιοχές όπου η πιθανότητα συλλογής είναι υψηλή, το  $\eta_q$  επομένως αυξάνεται. Μεγάλου μήκους κύματος φως απορροφάται πολύ ασθενώς και μόνον ένα μικρό ποσοστό απορροφάται στην ενεργή περιοχή του κυττάρου, το  $\eta_q$  κατά συνέπεια μειώνεται, και πέφτει στο μηδέν αφού τα φωτόνια δεν έχουν επαρκή ενέργεια για να δημιουργήσουν ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών.

Ένας άλλος τρόπος που δείχνει τη φασματική απόκριση πέρα από την κβαντική καμπύλη είναι να σχεδιαστεί η γραφική παράσταση της ευαισθησίας σε  $A/W$  ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Το κβαντικό όριο αναφέρεται επίσης. Στα μικρά μήκη κύματος, το κύτταρο δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει όλη την ενέργεια στα φωτόνια, έτσι η ευαισθησία είναι χαμηλή, ακόμα κι αν λειτουργεί ιδανικά.

## 2.3 Θερμοφωτοβολταϊκά (TPV):

Οι θερμοφωτοβολταϊκές (TPV) συσκευές λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τα ηλιακά κύτταρα, αλλά αντί να είναι ευαίσθητα σε ορατά και υπεριώδη μήκη κύματος του φωτός ένα TPV μετατρέπει την υπέρυθη ακτινοβολία (θερμότητα) σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα τυπικό σύστημα TPV αποτελείται από τρία μέρη. Έναν πομπό (ή πηγή θερμότητας) που αντιστοιχεί σε μια θερμοκρασία πηγής  $700^{\circ}-1700^{\circ}\text{C}$ . Την ίδια την συσκευή TPV, η οποία τοποθετείται μπροστά από τον πομπό ώστε να μετατρέπει την ενέργεια ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, και ένα φίλτρο ανάμεσα στα δύο που επιτρέπει στο φως στα κατάλληλα μήκη κύματος να περάσει από μέσα και να ανακλάσει μεγαλύτερα μήκη κύματος που δεν μπορούν να παράγουν ρεύμα πίσω στον πομπό για να ανακυκλώσουν την θερμότητα. Ένα τυπικό σύστημα TPV φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 2.9: Τυπικό σύστημα TPV

Η έννοια TPV συζητήθηκε για πρώτη φορά το 1960 αλλά οι βελτιώσεις στην τεχνολογία υλικών κατά τη διάρκεια των προηγούμενων δέκα ετών έχουν οδηγήσει στα πρώτα εμπορικά προϊόντα βασισμένα στην τεχνολογία TPV για την εγχώρια αγορά. Αυτές οι μικρές θερμάστρες είναι σε θέση να παράγουν ταυτόχρονα αρκετή ενέργεια για να φορτίσει μια μπαταρία 12V ή να δουλέψει μια τηλεόραση. Πολλές άλλες εφαρμογές για κύτταρα TPV διερευνώνται ενεργά.

Όπως:

- Συμπαράγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από τους εσωτερικούς λέβητες σε απομακρυσμένες περιοχές για να αποφευχθεί η ανάγκη για ξεχωριστή γεννήτρια.
- Υβριδικοί κινητήρες αυτοκινήτων.
- Ανάκτηση θερμότητας από πυρηνικές πηγές ενέργειας, ιδίως για διαστημικές εφαρμογές.
- Στρατιωτική χρήση για να αντικαταστήσει εν μέρει τις μπαταρίες ή να τις φορτίσει χρησιμοποιώντας υλικοτεχνικά καύσιμα όπως το πετρέλαιο ή τα αεροπορικά καύσιμα.

Έχει προταθεί ότι μακροπρόθεσμα θα μπορούσε να υπάρχει μία αγορά για TPV στην ανάκτηση των βιομηχανικών αποβλήτων θερμότητας ή ακόμα και ως μέσο για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση είτε ορυκτών καυσίμων, ανανεώσιμων καυσίμων όπως το ξύλο και η βιομάζα ή ακόμα και η αποθηκευμένη θερμότητα από το φως του ήλιου. Ορισμένες πρόσφατες



ανασκοπήσεις συζητούν αυτές τις εφαρμογές και παρέχουν μια χρήσιμη επισκόπηση της τεχνολογίας.

Τα TPV έχουν δυο πλεονεκτήματα σε σχέση με την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Πρώτον, το κύτταρο μπορεί να τοποθετείται μόνο λίγα εκατοστά από την πηγή θερμότητας δίνοντας προσπίπτουσες πυκνότητες ισχύος 1000 φορές υψηλότερες από ό,τι είναι διαθέσιμες από τον ήλιο. Πρωτότυπες συσκευές έχουν ήδη γίνει οι οποίες επιδεικνύουν πυκνότητες ισχύος εξόδου των  $10,000\text{m}^{-2}$ . Δεύτερον τα TPV συστήματα δεν εξαρτώνται από το φως του ήλιου, έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν εκτός των ωρών της ημέρας, χωρίς την αποθήκευση μπαταρίας. Το κύριο μειονέκτημα είναι το κόστος των υλικών και η τεχνολογία επεξεργασίας κυττάρων συν τη δυσκολία στην παραγωγή κυττάρων μεγάλης περιοχής όπου εργάζονται αποτελεσματικά. Επίσης, ενώ στη θεωρία, τα καύσιμα στις αποδόσεις μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι συγκρίσιμα με εκείνα που επιτυγχάνονται από γεννήτρια ορυκτού καυσίμου, στην πράξη αυτά είναι πολύ χαμηλότερα.

### 2.3.1 Υλικά:

Τα ορυκτά καύσιμα συνήθως καίγονται σε θερμοκρασία  $1400^{\circ}\text{C}$  και είναι αυτή η θερμοκρασία η οποία προσδιορίζει την κατανομή των μηκών κύματος του φωτός που εκπέμπει. Η μέγιστη εκπομπή για έναν καυστήρα στους  $1400^{\circ}\text{C}$  είναι  $1.6\mu\text{m}$  μήκος κύματος ή  $0.7\text{eV}$  ενέργειας φωτονίου. Αυτά τα φωτόνια χαμηλής ενέργειας δεν μπορούν να απορροφηθούν από τα συμβατικά ηλιακά κύτταρα πυριτίου συνεπώς τα TPV απαιτούν τη χρήση των σύνθετων ημιαγωγών που μπορούν να αποκριθούν σε αυτά τα υπέρυθρα μήκη κύματος. Το Αντιμονίδιο του Γαλλίου ( $\text{GaSb}$ ) ή τα κοντά στο 50% κράματα του Αρσενίδιου του Ινδίου και του Αρσενίδιου του Γαλλίου ( $\text{InGaAs}$ ) είναι κατάλληλα για την απορρόφηση της ακτινοβολίας σε  $1.6\mu\text{m}$  και κάτω. Για χαμηλότερες θερμοκρασίες, όπως θα μπορούσαν να βρεθούν γύρω από ένα πυρηνικό στοιχείο ενέργειας, η κορυφή μήκους κύματος εκπομπής είναι  $2,5\mu\text{m}$  και αυτό αντιστοιχεί σε έναν πομπό ακτινοβολίας στους  $800^{\circ}\text{C}$ . Οι πλούσιες συνθέσεις Ινδίου του  $\text{InGaAs}$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτήν την φασματική περιοχή ή κράματα που περιέχουν τέσσερα στοιχεία που βασίζονται στο  $\text{GaInAsSb}$ . Το  $\text{GaSb}$  περιέχει συστήματα που χρησιμοποιούν συνήθως υποστρώματα  $\text{GaSb}$  και  $\text{InGaAs}$  συστήματα που χρησιμοποιούν υποστρώματα  $\text{InP}$ .

Το 1994 ο Fraas κατασκεύασε μια θερμοφωτοβολταϊκή ηλεκτρική γεννήτρια χρησιμοποιώντας τα κύτταρα GaSb με έναν καυστήρα υδρογονανθράκων. Ένα  $1\text{cm}^2$  κύτταρο GaSb που λειτουργεί σε 6A και 2.6 Watt κατασκευάστηκε και μια γεννήτρια κυκλώματος 10 κυττάρων που λειτουργεί σε πάνω από 22 Watt επιδείχθηκε. Οι διαθέσιμες στο εμπόριο συσκευές βασισμένες σε αυτήν την τεχνολογία είναι τώρα διαθέσιμες και ικανές να παραγάγουν μέχρι 1kW. Η διαδικασία επεξεργασίας είναι απλή, αναπαραγωγίμη και σχετικά φτηνή που είναι σοβαροί παράγοντες εάν τα TPV πρόκειται να καλύψουν τις απαιτήσεις μιας μεγάλης κλίμακας παραγωγή. Πιο σύνθετες δομές απαιτούν εν γένει τη χρήση ακριβών τεχνικών εναπόθεσης όπως η MOVPE ή η MBE.

## 2.4 GaAs (Αρσενίδιο του Γαλλίου):

Το Αρσενίδιο του Γαλλίου είναι ένα παράδειγμα του σύνθετου ημιαγωγού. Έχει παρόμοια κρυσταλλική δομή με το πυρίτιο εκτός από το ότι κάθε δεύτερο άτομο είναι διαφορετικό. Το GaAs επίσης είναι ημιαγωγός άμεσου χάσματος. Αυτό σημαίνει ότι το φως του ήλιου απορροφάται πολύ γρήγορα μετά την εισαγωγή του. Επίσης σημαίνει ότι η διάρκεια ζωής των μεταφορέων μειονότητας και τα μήκη διάχυσης είναι πολύ μικρότερα απ' ό,τι στο πυρίτιο.

Το GaAs έχει μια καλά αναπτυγμένη τεχνολογία λόγω εμπορικού ενδιαφέροντος σε αυτό το υλικό για διόδους εκπομπής φωτός και λέιζερ ψευδοκρυσταλλικών ημιαγωγών.

Λόγω του σχεδόν ιδανικού χάσματος ζωνών του και της αναπτυγμένης τεχνολογίας του, τα αποδοτικότερα ηλιακά κύτταρα που έχουν ποτέ αναφερθεί έχουν βασιστεί στο GaAs. Οι επίγειες αποδοτικότητες πάνω από 22% έχουν αναφερθεί κάτω από AM1 του φωτός του ήλιου, ουσιαστικά υψηλότερο από τον αντίστοιχο αριθμό 18% για το πυρίτιο. Ωστόσο, υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα με τη χρήση του GaAs ως υλικό ηλιακών κυττάρων. Οι περιορισμένοι πόροι του Γαλλίου θα εξασφαλίσουν ότι το GaAs θα είναι πάντα ένα ακριβό υλικό. Αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι τα κύτταρα GaAs είναι ιδανικά για χρήση σε συστήματα που συγκεντρώνουν το φως του ήλιου. Ως συνέπεια η ποσότητα του υλικού που απαιτείται για μια δεδομένη ισχύ εξόδου μειώνεται. Το άμεσο χάσμα του GaAs επίσης σημαίνει ότι το φως απορροφάται πολύ γρήγορα μετά την εισαγωγή του στο υλικό. Ως εκ τούτου, μόνο μερικά στρώματα μικρού πάχους είναι όλα που απαιτούνται, μειώνοντας περαιτέρω τις απαιτήσεις υλικού. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι η τοξική φύση του αρσενικού.

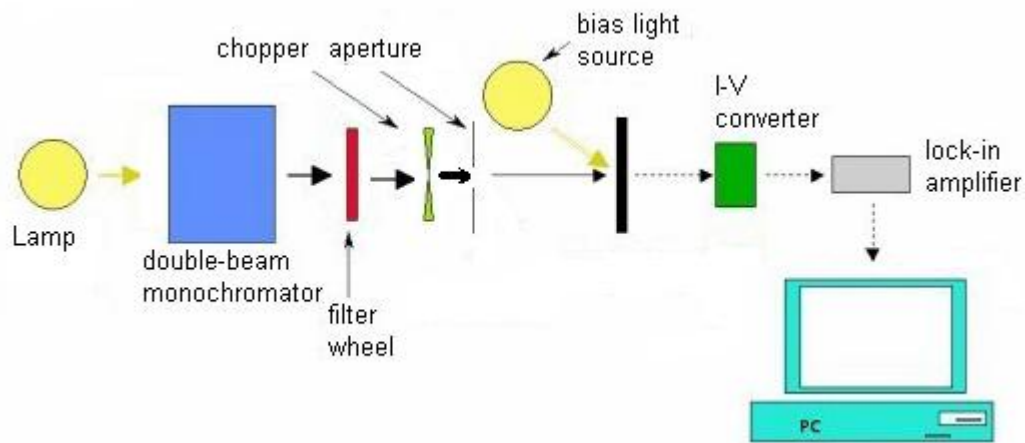
Οι περιβαλλοντικές συνέπειες της ανάπτυξης των μεγάλων ηλιακών συστημάτων βασισμένων στα τοξικά υλικά θα πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά.

### **3.0 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Τα κύτταρα που είχαν προβλεφθεί για το σχέδιο, καθώς και τα κύτταρα που αρκετές δοκιμές έγιναν ήταν τα GaAs /GaAs και τα GaSb /GaAs φωτοβολταϊκά κύτταρα. Ο κύριος στόχος του σχεδίου ήταν να γίνουν χαρακτηριστικές δοκιμές σε ορισμένα κύτταρα TPV, έτσι ώστε να κατανοήσουμε δευτερευόντως πώς λειτουργούν, πώς μπορούν να μετρηθούν και πώς τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πρωτίστως να καθορίσει ποια κύτταρα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και σε ποια διάταξη.

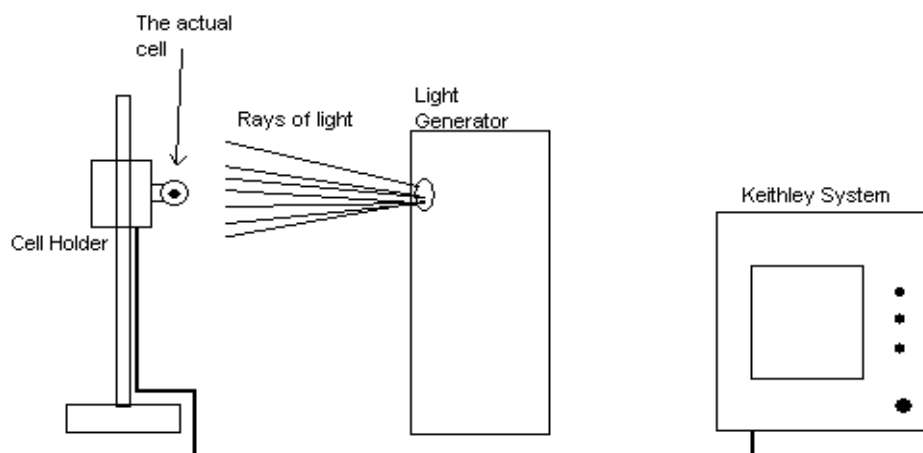
Η αρχική φάση των δοκιμών του σχεδίου συμπεριέλαβε αρκετά δείγματα κυττάρων ώστε να εξερευνηθούν τα εξωτερικά χαρακτηριστικά τους και να μάθουμε τους τρόπους χρήσης με τους οποίους θα πραγματοποιηθεί η δοκιμή. Η δεύτερη φάση της δοκιμής περιλάμβανε τη μέτρηση των χαρακτηριστικών και τις αποδόσεις των πραγματικών κυττάρων που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα.

Οι δυο τρόποι για την χαρακτηριστική δοκιμή των κυττάρων ήταν η φασματική απόκριση χρησιμοποιώντας έναν μονοχρωμάτορα, έναν οπτικό μετρητή ισχύος, έναν κλειδωμένο ενισχυτή και μια οπτική έλικα μεταβλητής συχνότητας διαμορφωμένη έτσι που μπορεί να φανεί παρακάτω:



Εικόνα 3.1: Κυκλίδωμα Μονοχρωμάτορα – Διαμόρφωση

Ο δεύτερος τρόπος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο I-V χαρακτηρισμός των κυττάρων χρησιμοποιώντας μια πηγή Keithley μέτρησης μονάδας με μια λάμπα αλογόνου που μπορεί να φανεί παρακάτω:



Εικόνα 3.2: Keithley σύστημα για I-V χαρακτηρισμό των κυττάρων.

### 3.1 I-V ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ p-GaSb/n-GaAs

#### Δείγματα Κυττάρων:

Αυτό το τμήμα της έκθεσης ασχολείται με ορισμένες μετρήσεις που έγιναν στα εργαστήρια που χρησιμοποιούν το σύστημα Keithley για να βρει τις καμπύλες I-V

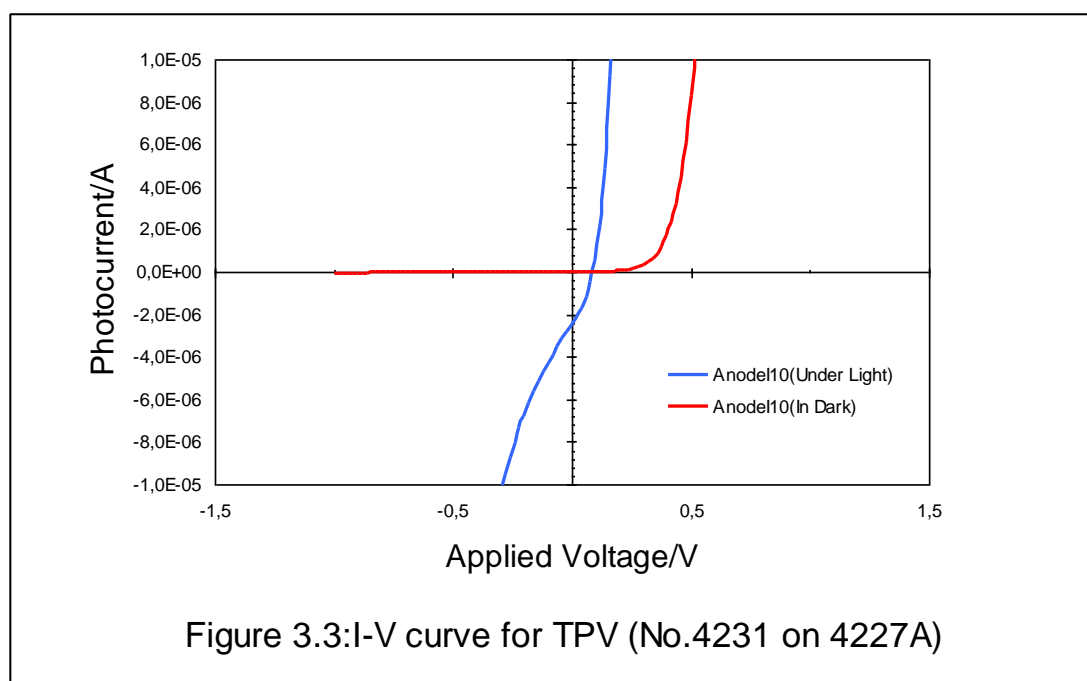
των δειγμάτων, από που ο συντελεστής πλήρωσης πρόκειται να καθοριστεί και επιπλέον η αποδοτικότητα του κυττάρου που μπορεί να αποκτηθεί.

Τα δείγματα κυττάρων που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να φανούν παρακάτω μαζί με τις περιγραφές τους, η τάση ανοικτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ), το ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ) και ο αντίστοιχος συντελεστής πλήρωσης (FF):

<b>GaAs:</b> <b>Si/Sub</b>	HCl treated	GaAs buffer/Un (640°C)	GaSb buffer (540°C)	GaSb (590°C)	GaSb (620°C)	InAs/Un (550°C)	RMS roughness	Layer thickness (μm)	$V_{oc}$ (Volts)	$I_{sc}$ (μA)	FF (%)
<u>4231 on</u>											
<u>4226</u>	n	1	0	90	0	x			0.16	0.011	0.35
<u>4225</u>	n	5	0	90	0	x			-----	-----	-----
<u>4227a</u>	n	0	10	0	90	x			0.08	2.47	0.21
<u>4227b</u>	y	0	10	0	90	x			0.08	3.4	0.36
<u>4228a</u>	n	1	10	0	90	x			0.08	0.008	0.39
<u>4228b</u>	y	1	10	0	90	x			0.18	0.026	0.35
	* time : min										

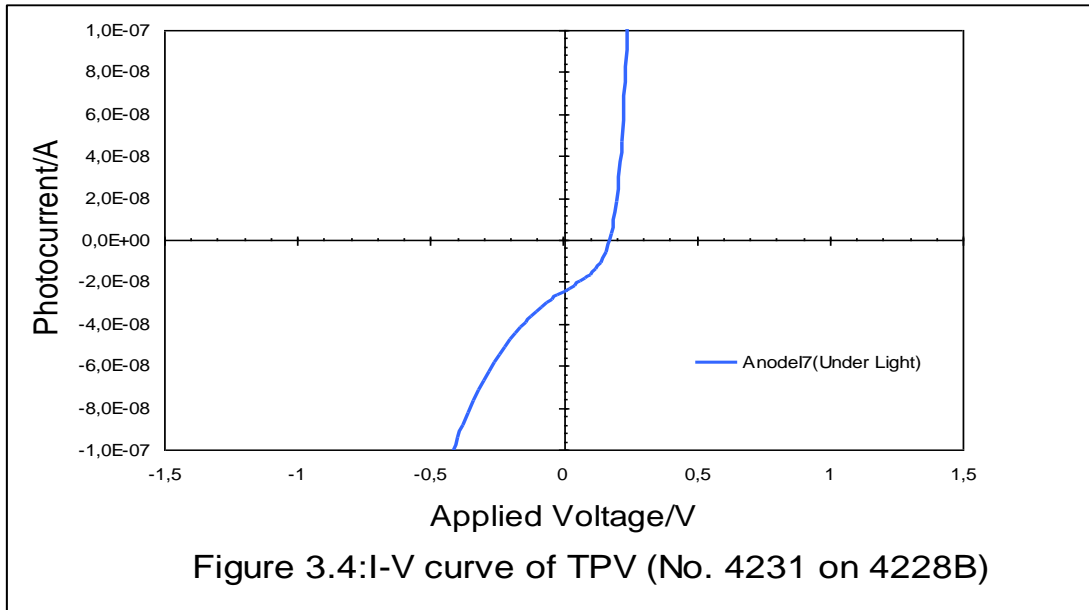
Πίνακας 3.1: Πειραματικά μετρημένα κύτταρα.

Οι μετρήσεις που έγιναν στα παραπάνω κύτταρα μπορούν να φανούν στα παρακάτω διαγράμματα τα οποία είναι οι I-V καμπύλες τους.



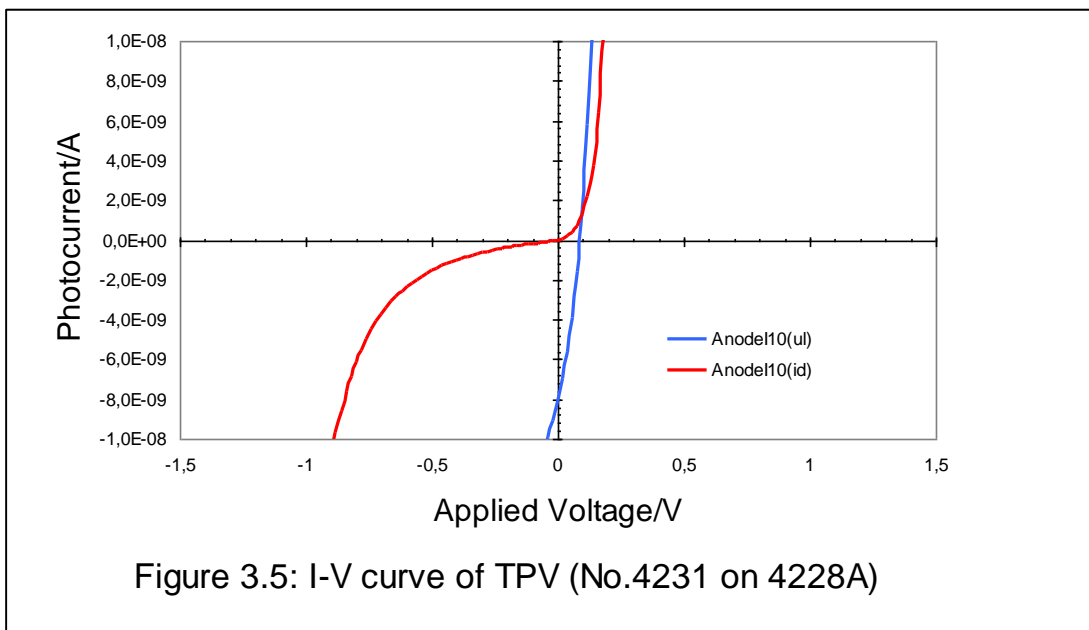
Εικόνα 3.3: Καμπύλη I-V για τα TPV (No.4231 – 4227A)

Στο παραπάνω διάγραμμα οι καμπύλες I-V για το 4227A κύτταρο υπό-φως και σε σκοτάδι μπορούν να φανούν.



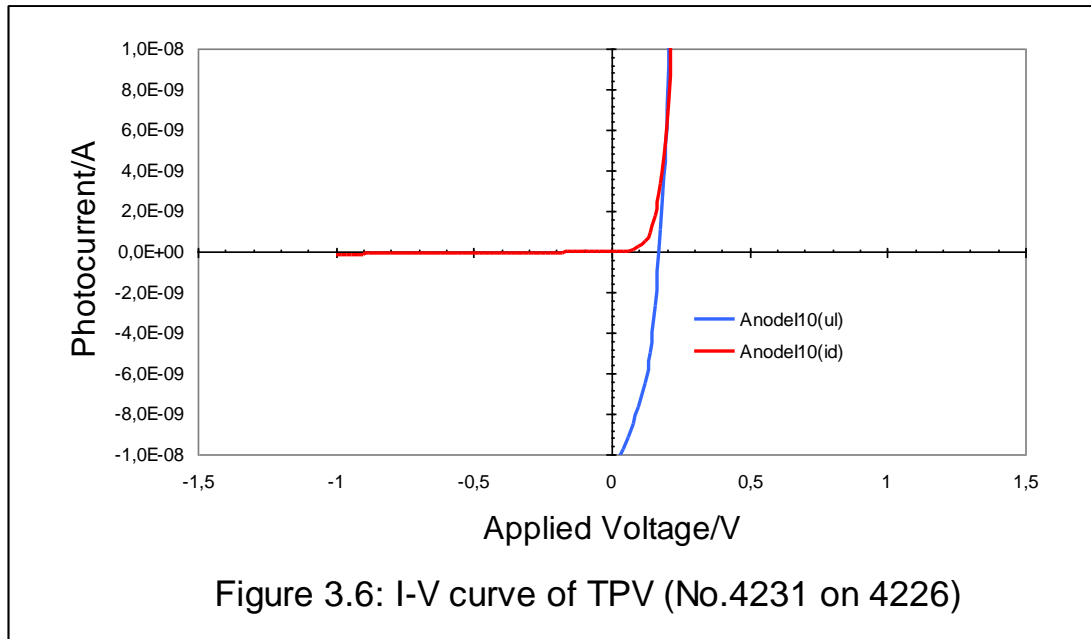
Εικόνα 3.4: Καμπύλη I-V για τα TPV (No.4231 – 4228B)

Στο παραπάνω διάγραμμα μόνο η καμπύλη υπό-φως I-V μπορεί να φανεί για το 4228B κύτταρο και αυτό λόγω της πολύ κακής μέτρησης της καμπύλης στο σκοτάδι.



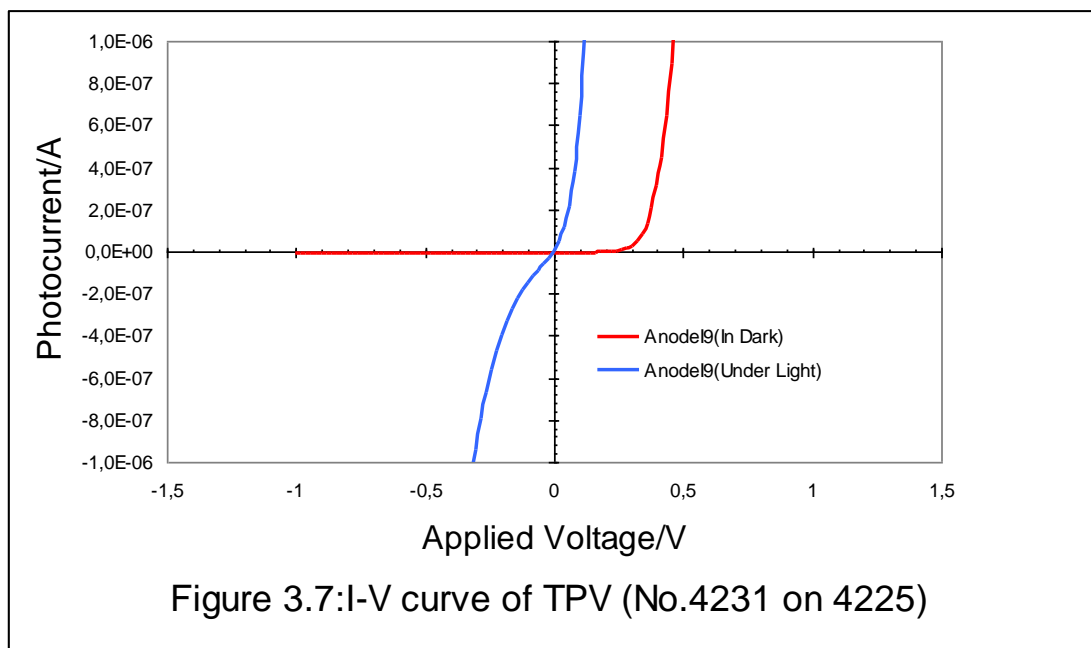
Εικόνα 3.5: Καμπύλη I-V για τα TPV (No.4231 – 4228A)

Στο παραπάνω διάγραμμα και δύο καμπύλες I-V, σε σκοτάδι και υπό-φως, μπορούν να φανούν για το 4228A κύτταρο.



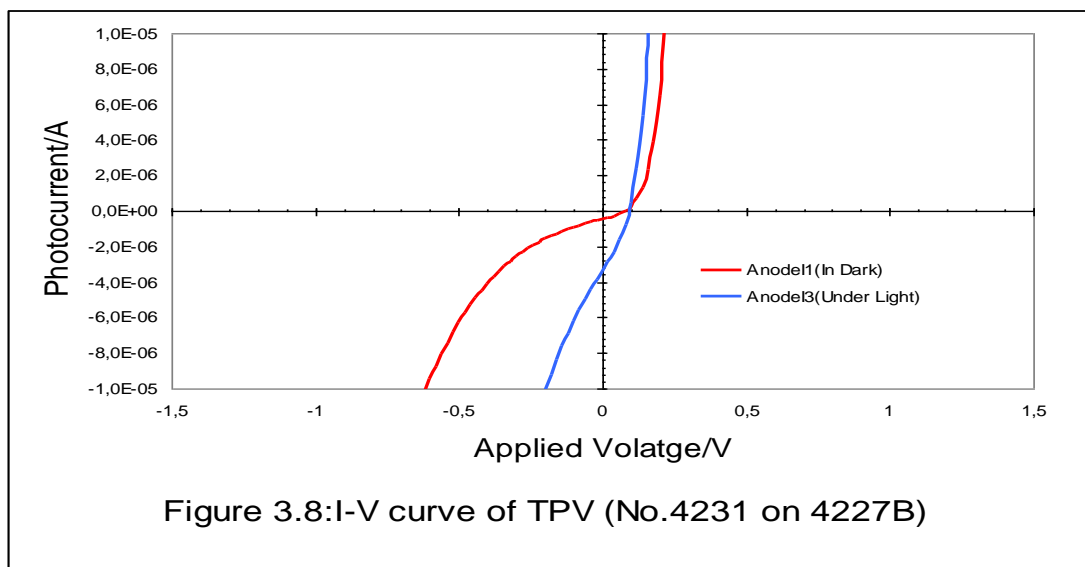
Εικόνα 3.6: Καμπύλη I-V για τα TPV (No.4231 – 4226)

Στο παραπάνω διάγραμμα και πάλι οι δύο καμπύλες I-V, στο σκοτάδι και υπό-φως μπορούν να φανούν.



Εικόνα 3.7: Καμπύλη I-V για τα TPV (No.4231 – 4225)

Στο παραπάνω διάγραμμα και οι δυο καμπύλες I-V, σε σκοτάδι και υπό-φως μπορούν να φανούν αλλά εδώ υπάρχει ένα πρόβλημα, το οποίο είναι η υπό-φως καμπύλη η οποία διασχίζει στην πραγματικότητα το σημείο 0 και από τους δυο άξονες. Αυτή δεν είναι μια σωστή καμπύλη I-V και γι' αυτό η μέτρηση γι' αυτήν την καμπύλη ήταν λάθος.



Εικόνα 3.8: Καμπύλη I-V για τα TPV (No.4231 – 4227B)

Στο παραπάνω διάγραμμα οι καμπύλες I-V σε σκοτάδι και υπό-φως για το 4227B κύτταρο μπορούν να φανούν, αλλά εδώ υπάρχει ένα διαφορετικό πρόβλημα από πριν. Όπως μπορεί να δει κανείς η καμπύλη I-V σε σκοτάδι μοιάζει με την καμπύλη υπό-φως, έτσι πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι λάθος

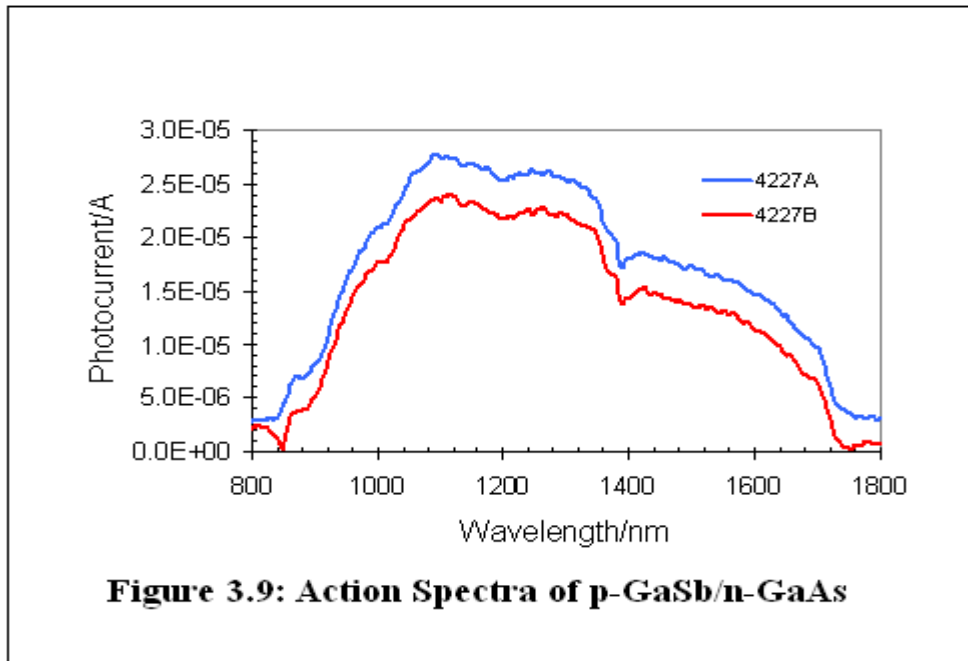
## 3.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ p-GaSb/n-GaAs

### Δείγματα Κυττάρων:

Αυτό το τμήμα της έκθεσης ασχολείται με τη φασματική απόκριση των κυττάρων που μπορεί να φανεί στον πίνακα 3.1. Για τη μέτρηση της φασματικής απόκρισης των κυττάρων η χρησιμοποιήθηκε η διαμόρφωση μονοχρωμάτορα.

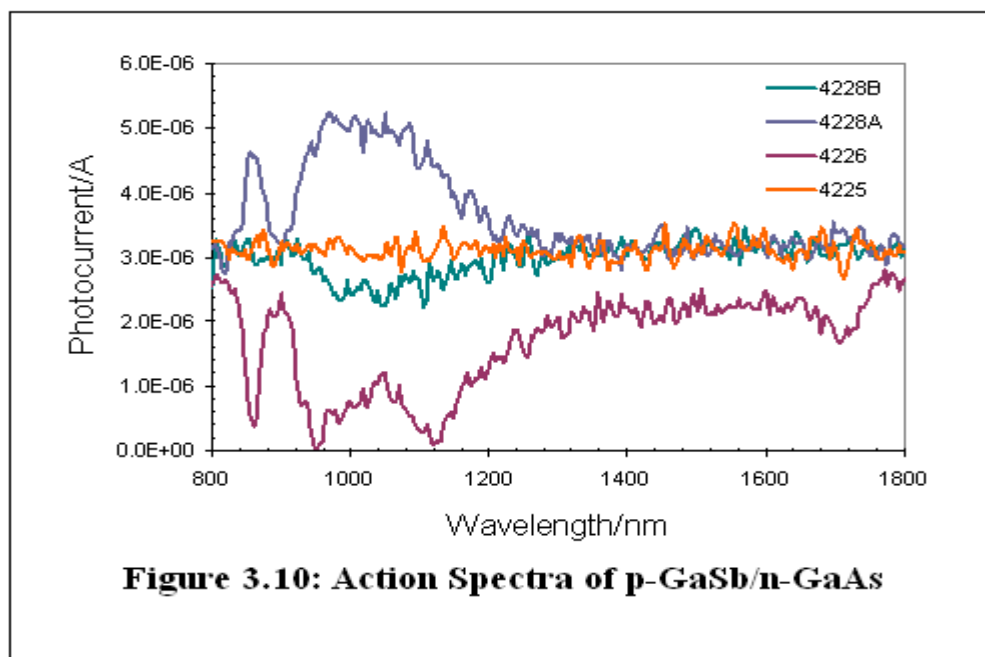
Οι μετρήσεις που λήφθηκαν χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση μονοχρωμάτορα παρουσιάζονται παρακάτω σε δύο διαγράμματα:





Εικόνα 3.9:Φασματική Απόκριση των p-GaSb/n-GaAs

Το παραπάνω διάγραμμα περιέχει τα κύτταρα που έχουν τις καλύτερες φασματικές αποκρίσεις οι οποίες είναι οι 4227A και 4227B όπως αυτό μπορεί να φανεί στο σχήμα. Ένα άλλο πράγμα που παρατηρείται είναι ότι όπου το μήκος κύματος είναι 1400nm και οι δύο καμπύλες πέφτουν λίγο προς τα κάτω. Αυτό οφείλεται στο νερό που υπάρχει στον αέρα και τον θόρυβο.



Εικόνα 3.10:Φασματική Απόκριση των p-GaSb/n-GaAs

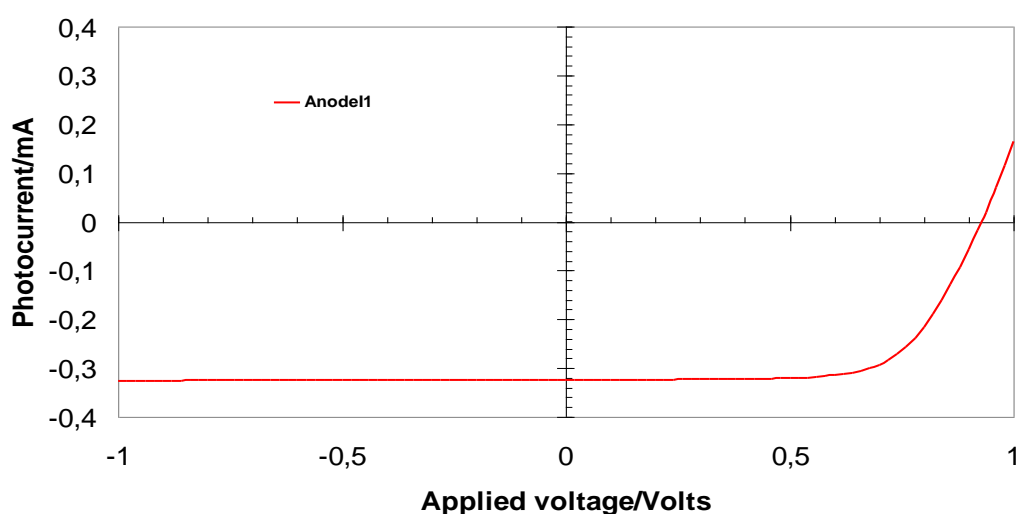
Στην παραπάνω εικόνα, οι όχι και τόσο καλές φασματικές αποκρίσεις τα υπόλοιπα δείγματα κυττάρων μπορούν να φανούν. Αυτά τα κύτταρα έχουν πολύ κακές φασματικές αποκρίσεις εκτός από το 4228A και το 4226 οι οποίες δεν είναι τόσο κακές όσο στα άλλα. Λόγω ενός μη διευκρινισμένου λάθους τα δείγματα κυττάρων 4226 και 4228B παρουσιάζονται αντεστραμμένα κάτι που είναι λάθος. Πρέπει να είναι όπως τα 4225 και 4228A.

### 3.3 I-V ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ TPV ΚΥΤΤΑΡΩΝ

#### ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΜΕ ΛΑΜΠΑ ΑΛΟΓΟΝΟΥ:

Για τη δοκιμή των κυττάρων TPV που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα μια υποδοχή κυττάρων έγινε χρησιμοποιώντας έναν πίνακα κυκλωμάτων ως πραγματική υποδοχή του κυττάρου. Οι επαφές του Cooper τοποθετήθηκαν, όπως οι πίσω επαφές του κυττάρου, στον πίνακα κυκλωμάτων και μια καρφίτσα χρησιμοποιήθηκε ως η μπροστινή επαφή του κυττάρου. Κάθε κύτταρο τοποθετήθηκε στην υποδοχή κυττάρων και αυτή η υποδοχή συνδέθηκε με το σύστημα Keithley έτσι ώστε να αποκτήσουν τα χαρακτηριστικά του κυττάρου.

Τα κύτταρα που παρουσιάζονται παρακάτω είναι τα κύτταρα που έχουν δοκιμαστεί. Δεν είναι όλα τα κύτταρα που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα αλλά μόνο τα καλύτερα.



**Figure 3.11: I-V curve of GaAs (No. MR851-32)**

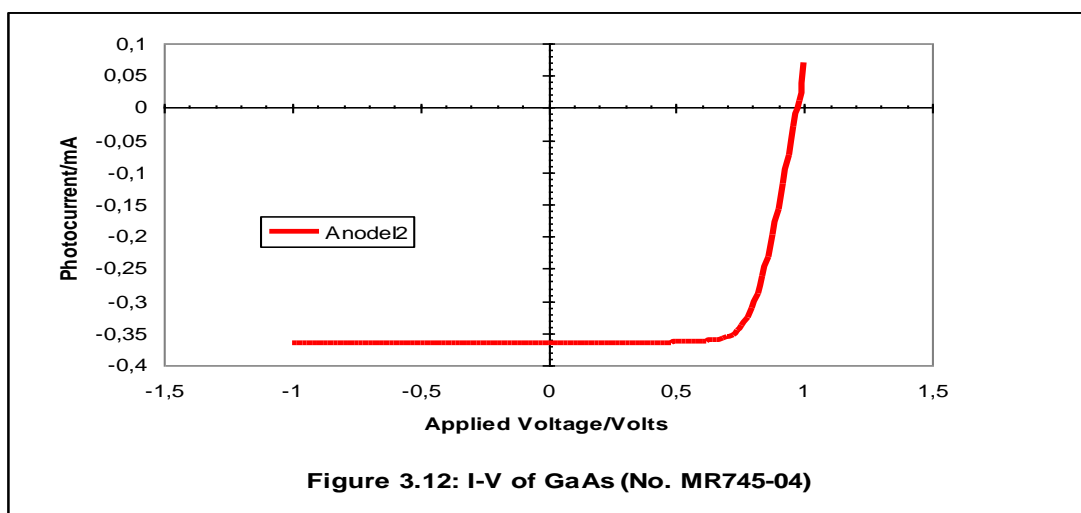
Εικόνα 3.11: Καμπύλη I-V για το GaAs (No. MR851-32)

Όταν το φως από την λάμπα αλογόνου φωτίστηκε στο κύτταρο φάνηκε να παράγεται ένα ρεύμα και μια τάση όπως φαίνεται στο τέταρτο τεταρτημόριο της εικόνας 3.11.

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.32\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.94\text{V}$

Αυτές οι τιμές του ρεύματος και της τάσης παρουσιάζουν τη μέγιστη ισχύ που παράγεται από το κύτταρο. Η πραγματική ισχύς που παράγεται δίνεται από το ορθογώνιο της μέγιστης ισχύος που μπορεί να κατασκευαστεί στο τέταρτο τεταρτημόριο της εικόνας 3.11 μεταξύ της γραμμής και του άξονα δύο.

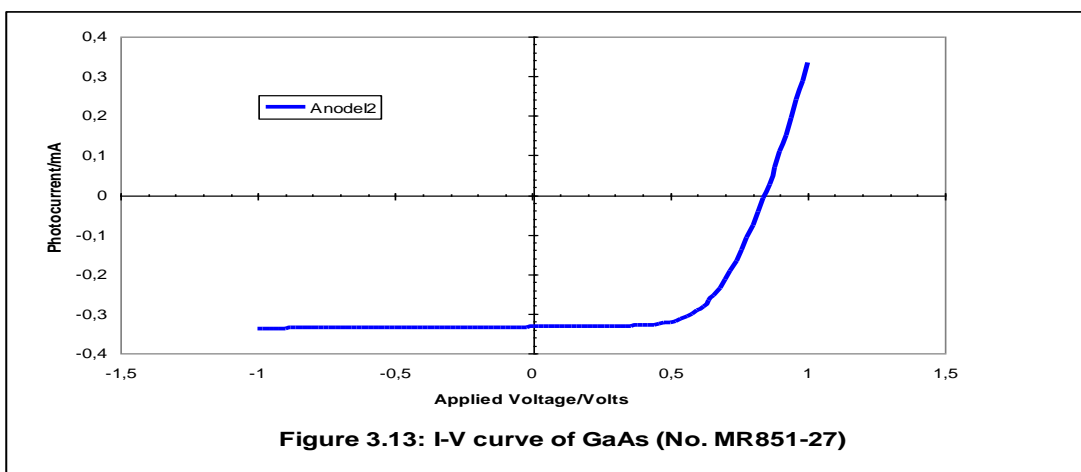


Εικόνα 3.12:Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR745-04)

Στην εικόνα 3.12 το δεύτερο δοκιμασμένο κύτταρο TPV μπορεί να φανεί με:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.37\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.98\text{V}$

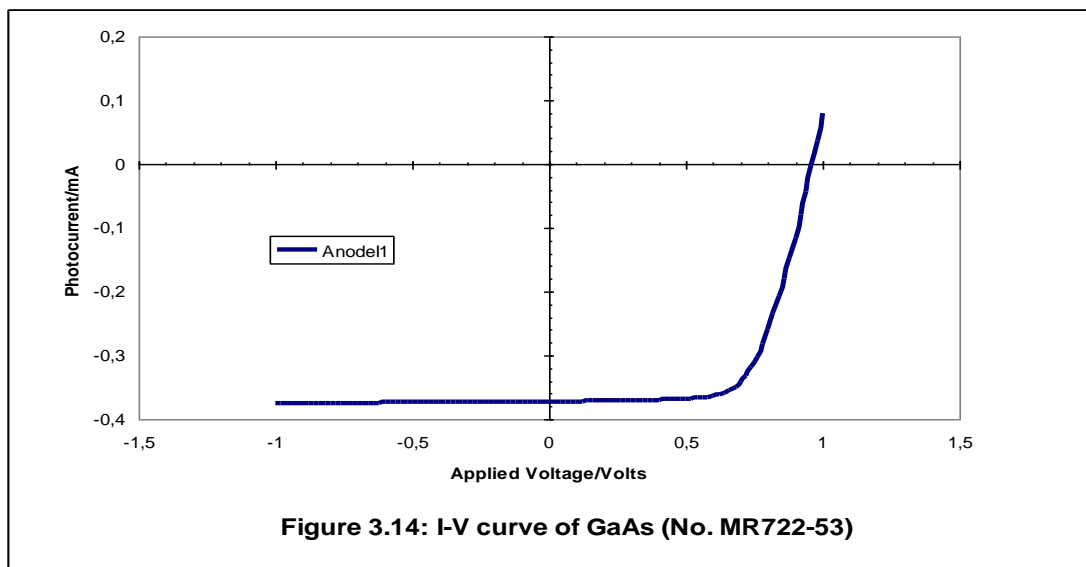


Εικόνα 3.13:Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR851-27)

Στην εικόνα 3.13 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.33\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.84\text{V}$

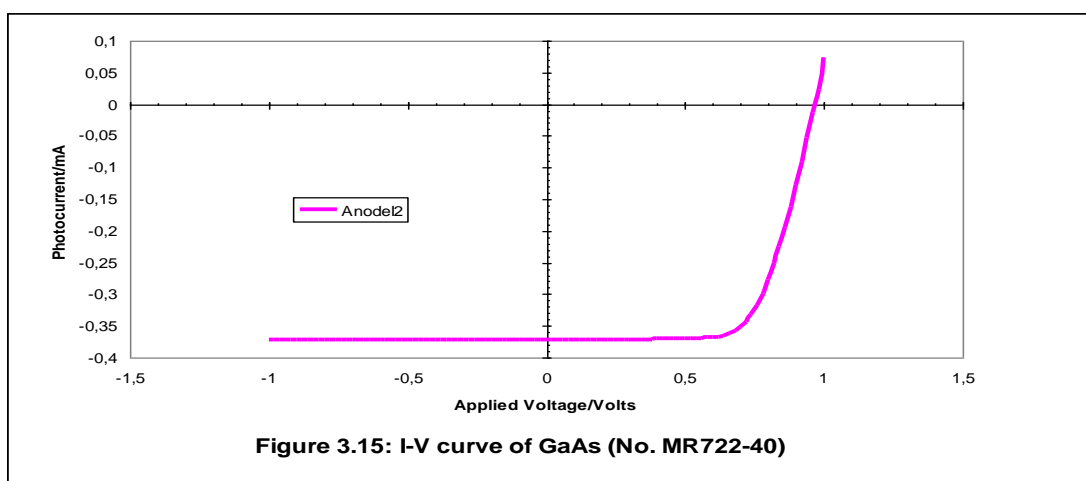


Εικόνα 3.14: Καμπύλη I-V για το GaAs (No. MR722-53)

Στην εικόνα 3.14 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.37\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.96\text{V}$

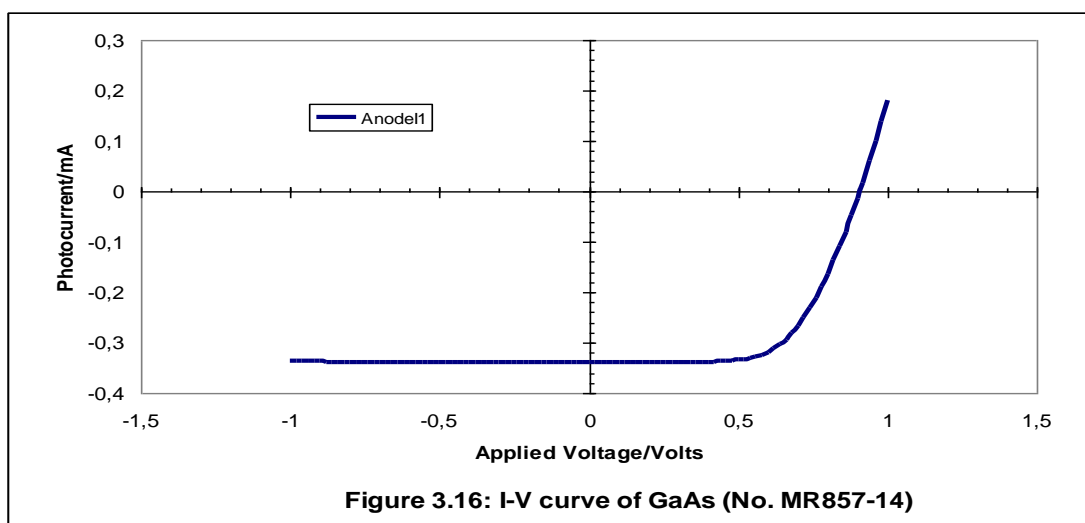


Εικόνα 3.15: Καμπύλη I-V για το GaAs (No. MR722-40)

Στην εικόνα 3.15 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.37\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.98\text{V}$

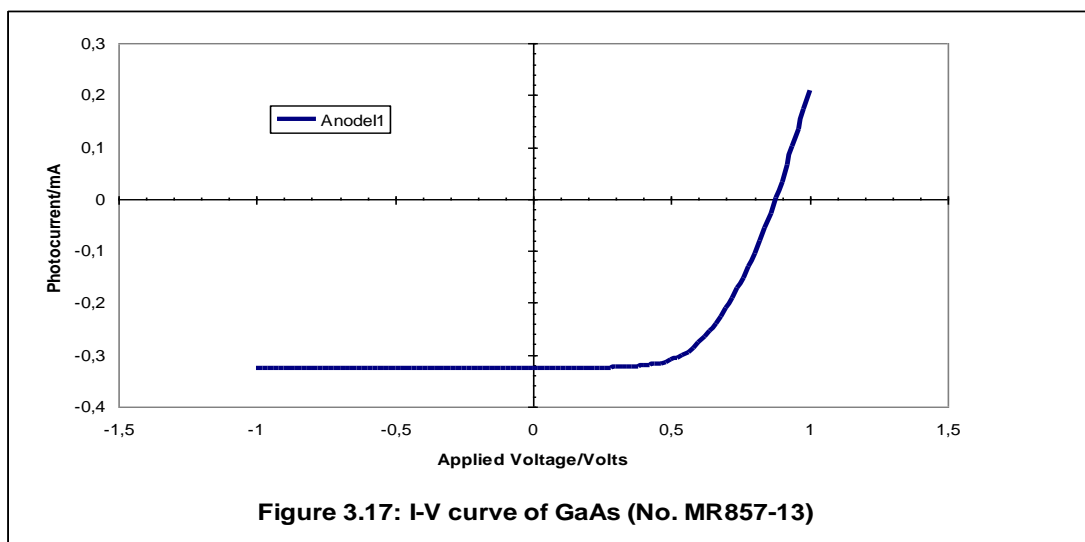


Εικόνα 3.16: Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR857-14)

Στην εικόνα 3.16 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.34\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.92\text{V}$

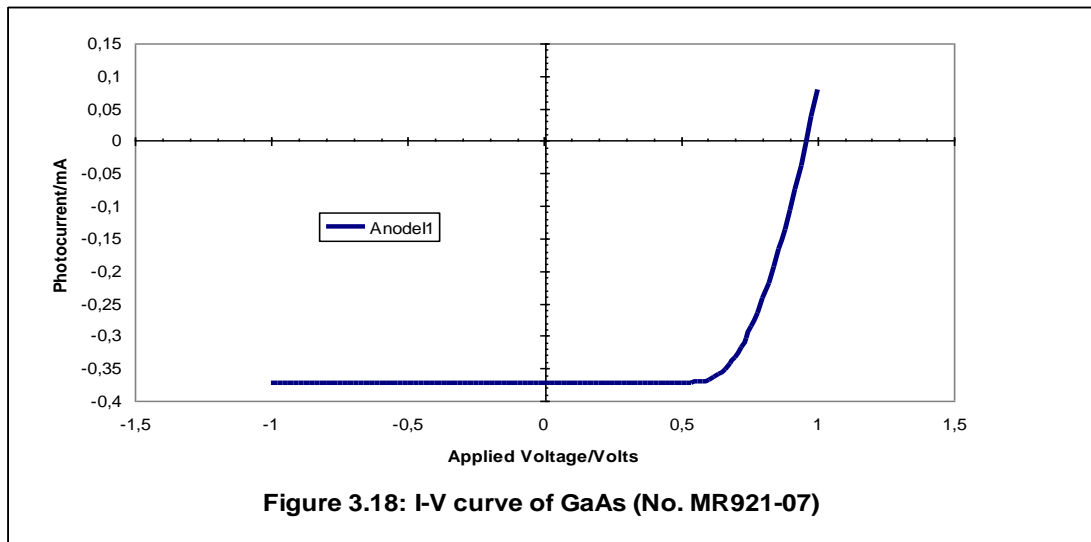


Εικόνα 3.17: Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR857-13)

Στην εικόνα 3.17 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.33\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.88\text{V}$

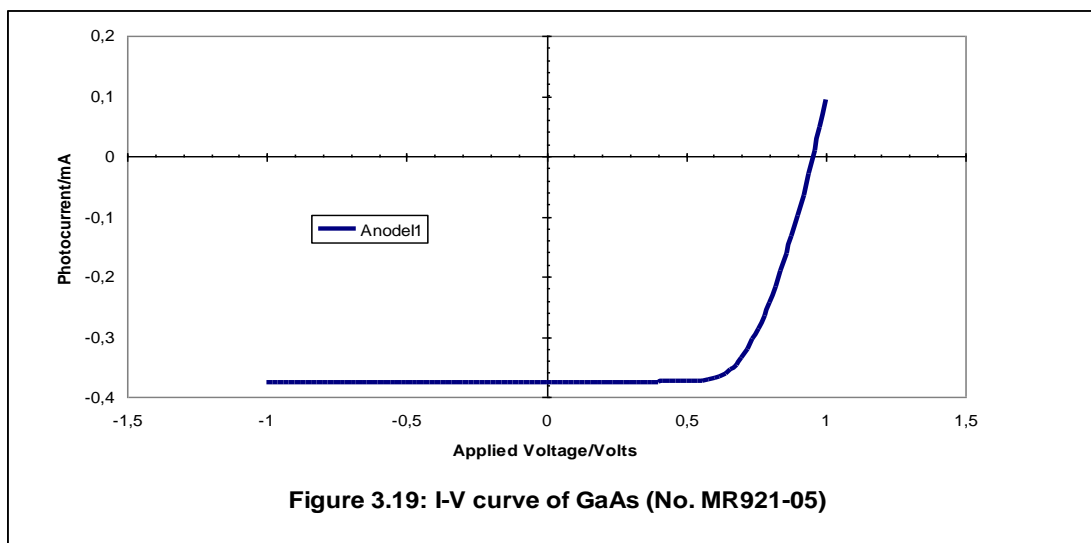


Εικόνα 3.18: Καμπύλη I-V για το GaAs (No. MR921-07)

Στην εικόνα 3.18 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.37\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.96\text{V}$



Εικόνα 3.19: Καμπύλη I-V για το GaAs (No. MR921-05)

Στην εικόνα 3.19 μπορεί να φανεί ότι:

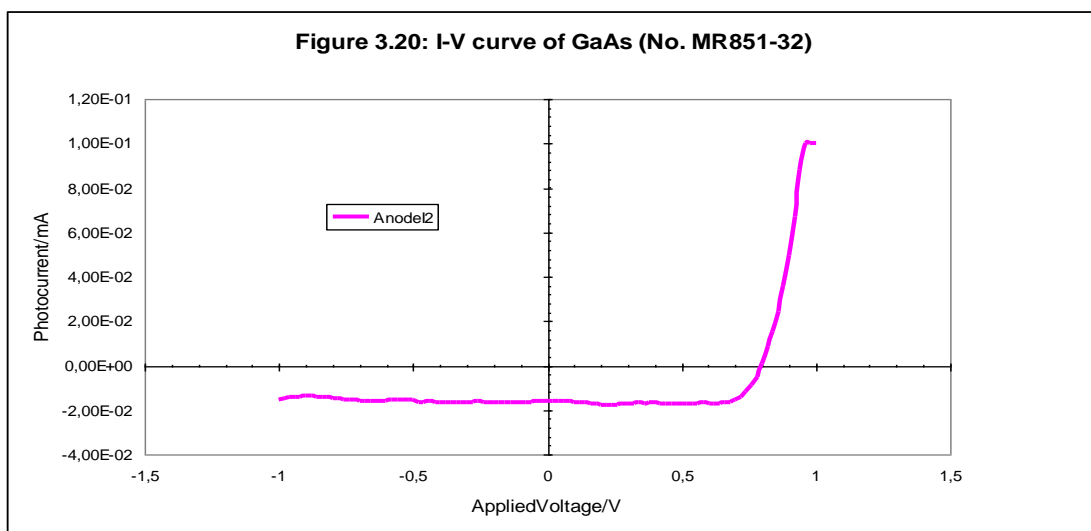
Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.37\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.96\text{V}$

### 3.4 I-V ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ TRV ΚΥΤΤΑΡΩΝ

#### ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΜΕ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΠΑΡΑΦΙΝΗΣ:

Εδώ έγιναν οι ίδιες μετρήσεις όπως στο μέρος 3.3 με τη διαφορά ότι εδώ αντί για τη λάμπα αλογόνου χρησιμοποιήσαμε έναν καυστήρα παραφίνης ως πηγή θερμότητας.

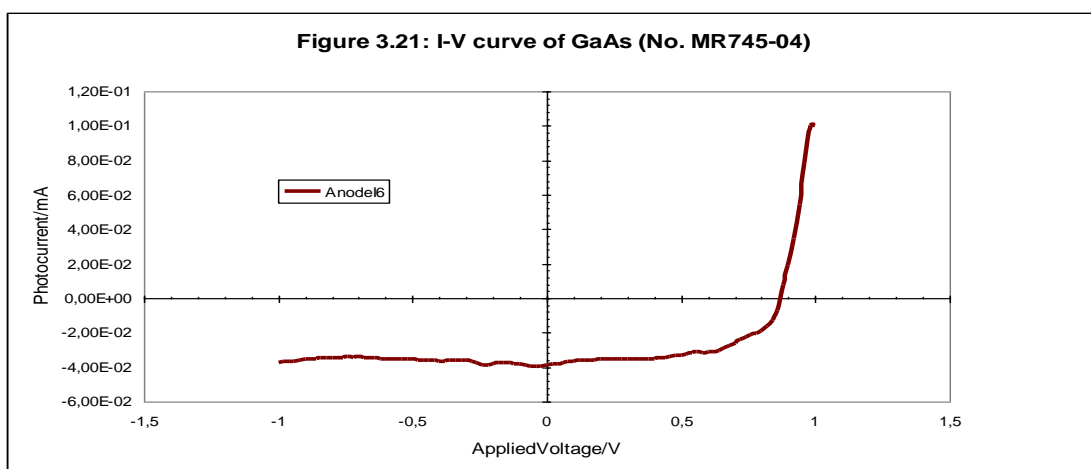


Εικόνα 3.20: Καμπύλη I-V για το GaAs (No. MR851-32)

Στην εικόνα 3.20 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.16\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.80\text{V}$

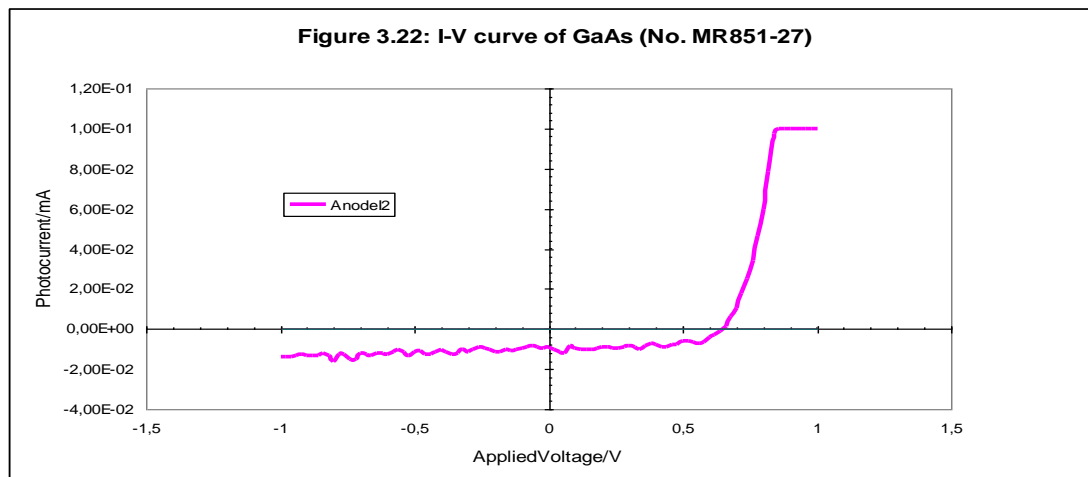


Εικόνα 3.21: Καμπύλη I-V για το GaAs (No. MR745-04)

Στην εικόνα 3.21 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.38\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.88\text{V}$

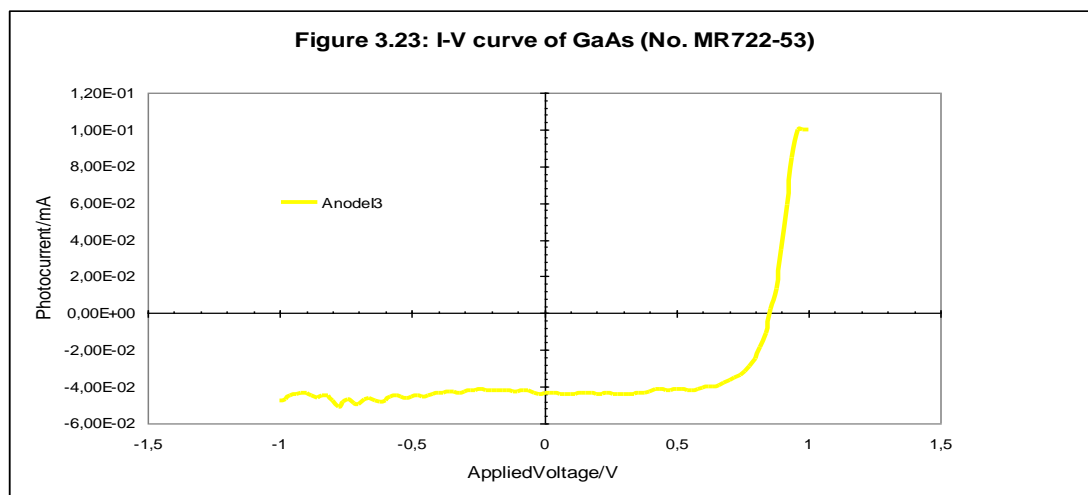


Εικόνα 3.22: Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR851-27)

Στην εικόνα 3.22 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.10\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.66\text{V}$



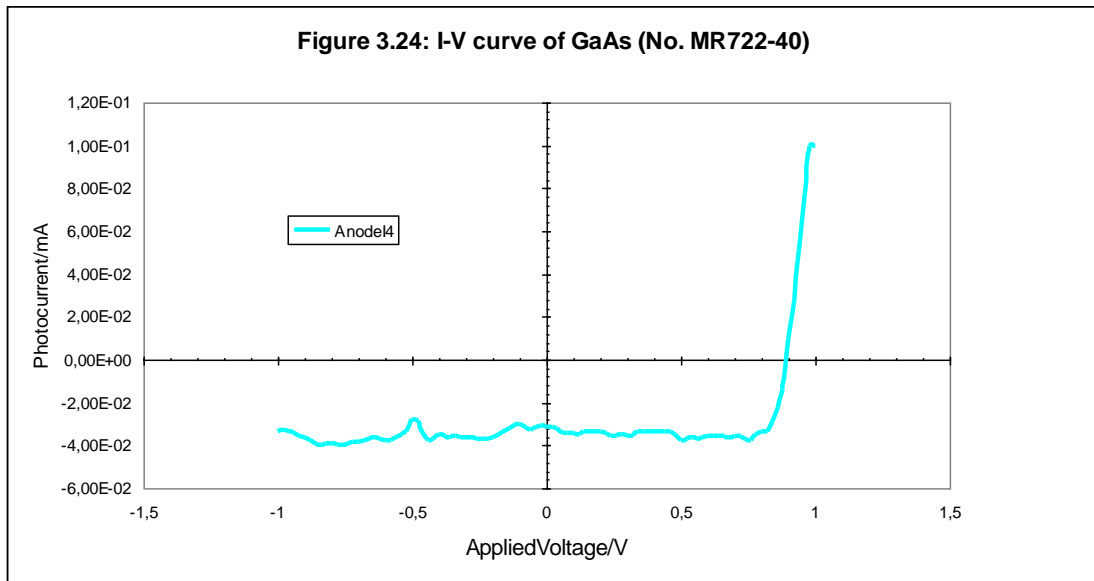
Εικόνα 3.23: Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR722-53)

Στην εικόνα 3.23 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.43\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.86\text{V}$



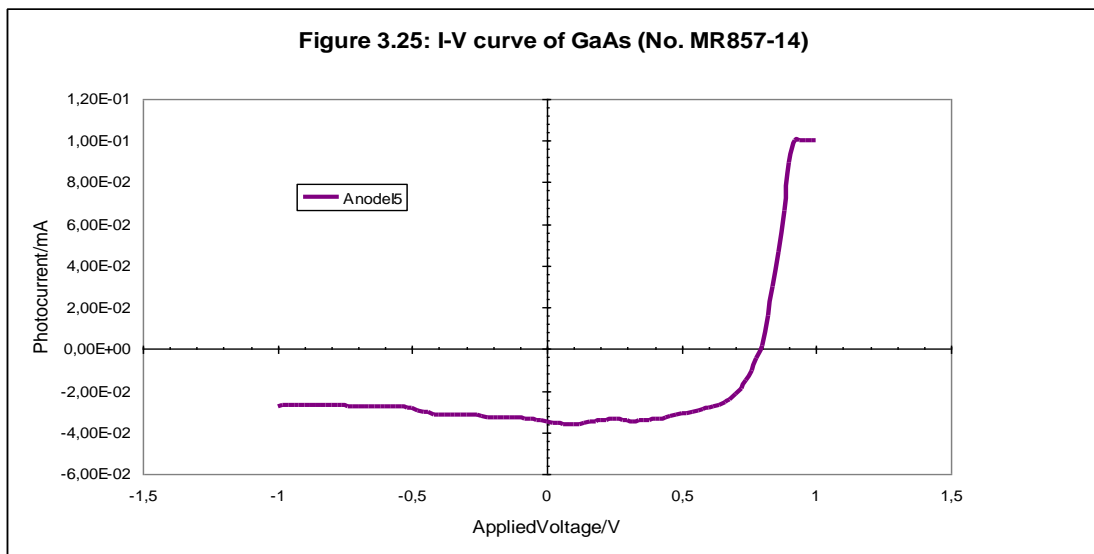


Εικόνα 3.24: Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR722-40)

Στην εικόνα 3.24 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.31\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.90\text{V}$

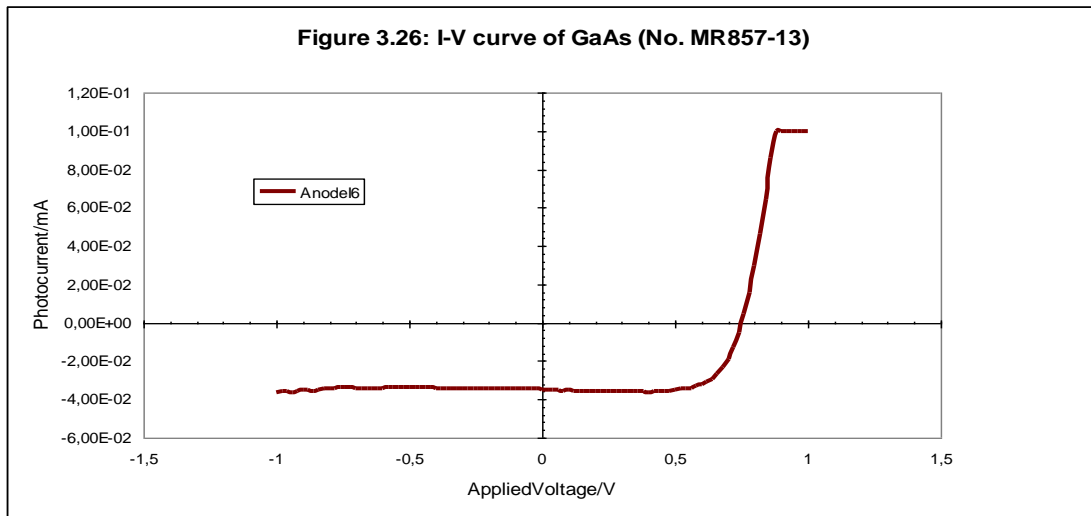


Εικόνα 3.25: Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR867-14)

Στην εικόνα 3.25 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.35\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.80\text{V}$

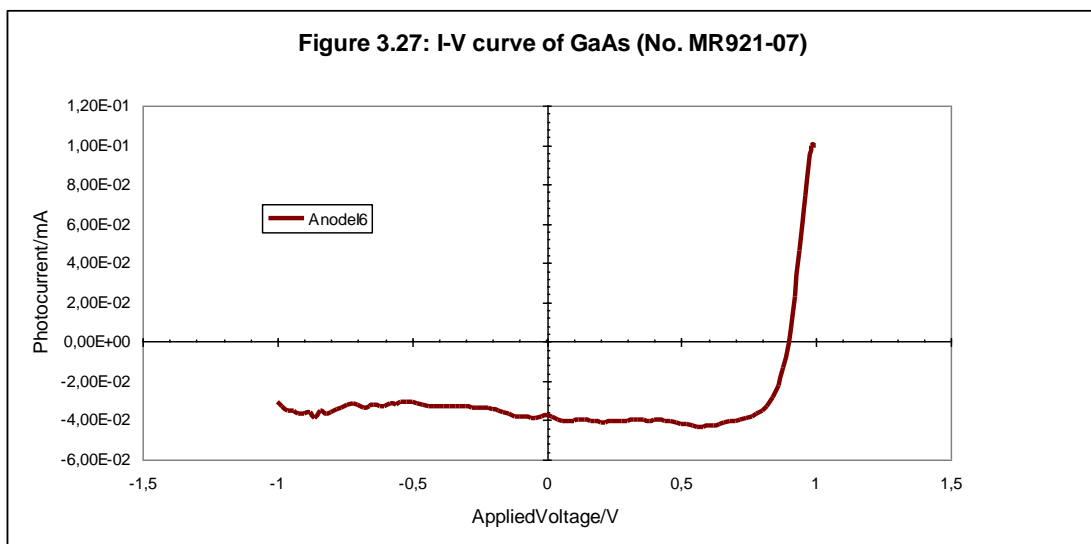


Εικόνα 3.26:Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR857-13)

Στην εικόνα 3.26 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.34\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.76\text{V}$

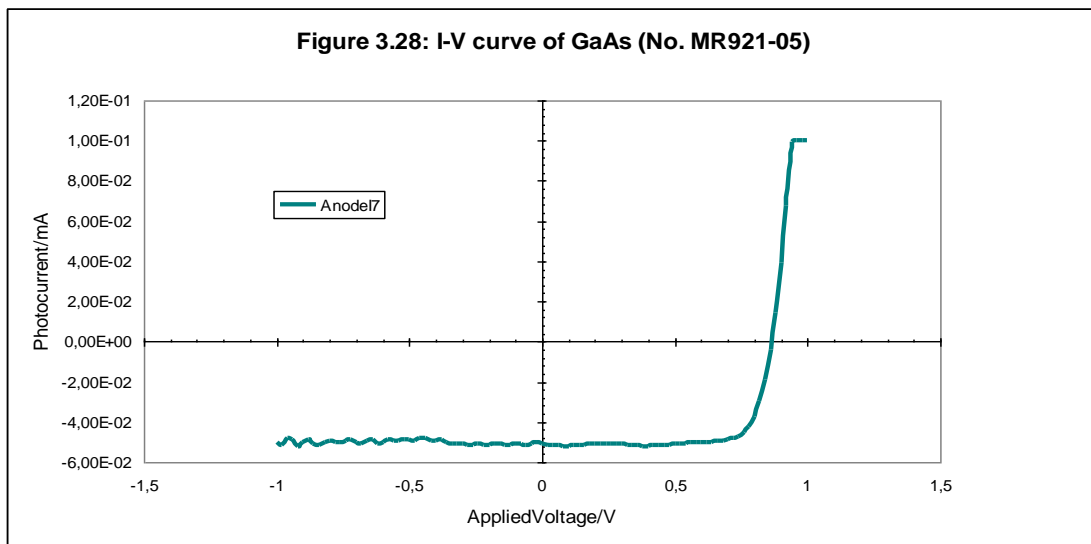


Εικόνα 3.27:Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR921-07)

Στην εικόνα 3.27 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.37\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.90\text{V}$



Εικόνα 3.28:Καμπύλη I-V για το GaAs (No.MR921-05)

Στην εικόνα 3.28 μπορεί να φανεί ότι:

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι:  $I_{sc} = 0.51\text{mA}$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι:  $V_{oc} = 0.88\text{V}$

Και πάλι αυτές οι τιμές που έχουν καταγραφεί και εμφανίζονται στις παραπάνω εικόνες είναι τα μέγιστα (ιδανικά)  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$  των κυττάρων. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο γυάλινου σωλήνα γύρω από τον καυστήρα παραφίνης (πηγή θερμότητας) ώστε τα αποτελέσματα είναι πιο γραμμικά και ρεαλιστικά. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων χρησιμοποιώντας τον καυστήρα παραφίνης χωρίς τον γυάλινο σωλήνα λήφθηκε ότι όσο πιο καυτά ήταν τα κύτταρα η  $V_{oc}$  μειώθηκε ενώ το  $I_{sc}$  αυξήθηκε. Ο λόγος πίσω από αυτό είναι ότι το γυαλί απορροφά λίγο φως και επίσης η επιφάνεια του γυαλιού αντανακλά κάποια θερμότητα πίσω στην πηγή. Επομένως η λειτουργία του γυάλινου σωλήνα ήταν όπως ενός φίλτρου. Όσο μεγαλύτερη η θερμότητα στο κύτταρο τόσο μικρότερη η αντίσταση του κυττάρου γι' αυτό το  $V_{oc}$  μειώνεται ενώ το  $I_{sc}$  αυξάνεται. Επίσης, μπορεί να φανεί ότι κάποιος θόρυβος επηρέαζε τις μετρήσεις και ένας λόγος πίσω από αυτό είναι ο αέρας που φυσάει τη φλόγα, του καυστήρα παραφίνης, μακριά. Έτσι, η φλόγα δεν ήταν πάντα σταθερή.

Μετά από όλες αυτές τις μετρήσεις τα κύτταρα που επιλέχτηκαν σαν καταλληλότερα για το πείραμα μπορούν να φανούν στον πίνακα παρακάτω:

GaAs/GaAs	$I_{sc}$ (mA)	$V_{oc}$ (V)
MR745-04	0.38	0.88
MR722-53	0.43	0.86
MR722-40	0.31	0.9
MR857-14	0.35	0.8
MR857-13	0.34	0.76
MR921-07	0.37	0.9

Πίνακας 3.1: TPV κύτταρα που χρησιμοποιούνται για το πείραμα με  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$

### 3.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ TPV ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ:

Κύτταρα GaAs χρησιμοποιήθηκαν για να μετατρέψουν τη θερμότητα που παράχθηκε από έναν καυστήρα παραφίνης στην ικανοποιητική ηλεκτρική ενέργεια για να τροφοδοτήσει ένα μικρό ραδιόφωνο. Τα κύτταρα που επιλέχτηκαν για το πείραμα και χρησιμοποιήθηκαν ως το μέσο TPV που επρόκειτο να μετατρέψουν τα υπέρυθρα κύματα σε ηλεκτρική ενέργεια μπορούν να φανούν στον πίνακα 3.1.

Οι εμπρός και πίσω επαφές των κυττάρων έγιναν χρησιμοποιώντας έναν πίνακα κυκλωμάτων σαν υποδοχή του κυττάρου, ταινία χαλκού που ήταν κολλώδης από τη μια πλευρά χρησιμοποιήθηκε για την μπροστινή επαφή και αγωγίμη κόλλα (μια εποξική με το ασήμι) χρησιμοποιήθηκε για την πίσω επαφή του κυττάρου με τον πίνακα κυκλωμάτων.

Λόγω των προβλημάτων με την αγωγιμότητα και τη λειτουργία (ισχύς εξόδου) ορισμένων κυττάρων το σύστημα δεν είχε τοποθετηθεί σχετικά με την αρχική υποδοχή του συστήματος το οποίο ήταν μια εξαγωνική υποδοχή για τα κύτταρα με μια βάση για τον καυστήρα παραφίνης.

Τα κύτταρα αφού τοποθετήθηκαν κάθε ένα σε έναν πίνακα κυκλωμάτων και ήταν έτοιμα να χρησιμοποιηθούν εξετάστηκαν με ένα βολτόμετρο, τοποθετώντας τα 1.5cm μακριά από τον καυστήρα παραφίνης, για την τάση εξόδου. Τα αποτελέσματα μπορούν να φανούν στον πίνακα παρακάτω:

<b>GaAs/GaAs</b>	<b>V (output)</b>
MR745-04	190mV
MR722-53	189mV
MR722-40	0.92
MR857-14	0.8
MR857-13	0.7
MR921-07	0.4

Πίνακας 3.2: Τάση εξόδου των κυττάρων που χρησιμοποιούνται για το σύστημα

Όπως είναι προφανές δεν έχουν όλα τα κύτταρα την αναμενόμενη τάση εξόδου. Μόνο τα MR722-40, MR857-14, MR857-13 είχαν τιμές κοντά στις αναμενόμενες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ενεργοποίηση του ραδιοφώνου. Μετά από αυτό το κύκλωμα συνδέθηκε με όλα τα έξι κύτταρα αλλά ούτε αυτό λειτούργησε. Το μόνο δύο κύτταρα που θα μπορούσαν να αποδώσουν μία τάση 1.5V συνδεδεμένα μαζί ήταν τα MR722-40 και MR857-14.

## **4.0 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

### **4.1 Συζήτηση της μεθοδολογίας σχεδιασμού:**

Το σύστημα αρχικά επρόκειτο να κατασκευαστεί με τη χρήση οκτώ θερμοφωτοβολταϊκών κυττάρων που σχηματίζουν ένα οκτάγωνο και στη μέση αυτού του σχηματισμού επρόκειτο να είναι μια φλόγα προπανίου που θα παρείχε την επιθυμητή θερμότητα. Η φλόγα επρόκειτο να τοποθετηθεί στο κέντρο του οκταγώνου και τα θερμοφωτοβολταϊκά κύτταρα θα μετέτρεπαν την θερμότητα που εκπέμπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο θα τροφοδοτήσει το ραδιόφωνο. Το επιθυμητό αποτέλεσμα ήταν να ακούσουμε μουσική από το ραδιόφωνο.

Στη συνέχεια η διαμόρφωση του συστήματος άλλαξε και τα οκτώ κύτταρα που αρχικά υποτίθεται ότι θα χρησιμοποιούσαμε μειώθηκαν στα έξι. Αυτό έγινε επειδή ο πίνακας κυκλωμάτων είχε τον σχηματισμό ενός εξάγωνου και επειδή η προκύπτουσα τάση και το ρεύμα εξόδου από τα έξι κύτταρα παρήγαγαν αρκετή ενέργεια για να τροφοδοτήσουν το ραδιόφωνο όπως μπορεί να φανεί από τις μετρήσεις I-V στο κεφάλαιο 3.4 της παρούσας έκθεσης.

### **4.2 Χαρακτηριστικά των χρησιμοποιημένων κυττάρων:**

Τα χαρακτηριστικά των TPV κυττάρων που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα είναι παρόμοια με τα χαρακτηριστικά μιας p-n διόδου συνδέσεων. Το ότι όταν η διόδος είναι πολωμένη προς τα εμπρός, η p πλευρά της διόδου είναι θετικά πολωμένη και οι οπές τείνουν να διαχέονται στην p πλευρά της διόδου ενώ τα ελεύθερα ηλεκτρόνια τείνουν να διαχέονται στην n πλευρά της διόδου. Οι ζώνες σθένους και αγωγιμότητας κάμπτουν αναλόγως με μια γενική επίδραση της μείωσης του ύψους φραγμού. Στην ανάστροφη πόλωση τώρα συμβαίνει το αντίθετο από την εμπρός πόλωση και το ύψος φραγμού αυξάνεται. Όταν το ύψος φραγμού μειώνεται γίνεται ευκολότερο για τα ηλεκτρόνια να διαχέονται από την n πλευρά προς την p πλευρά. Το αντίθετο συμβαίνει όταν αυξάνεται το ύψος φραγμού.

Στην περίπτωση μας, όταν η θερμική ενέργεια χτυπά τα κύτταρα αυτού του σχεδίου η θερμική ενέργεια απορροφάται και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Λόγω της εκτροπής των φορέων μειονότητας σε ολόκληρη τη δίοδο ένα ρεύμα εξάγεται. Οι φορείς που δημιουργούνται μέσα στο στρώμα εξάντλησης χωρίζονται από το πεδίο δίοδου, ενώ τα ηλεκτρόνια συλλέγονται στην πλευρά n ενώ οι οπές στην πλευρά p της δίοδου. Οι φορείς μειονότητας που παράγονται από τη προσπίπτουσα θερμότητα διαχέονται στο στρώμα εξάντλησης και αναγκάζονται προς την άλλη πλευρά από το ηλεκτρικό πεδίο.

Όταν η θερμότητα είναι προσπίπτουσα στα κύτταρα του σχεδίου η ισχύς παράγεται για να χρησιμοποιηθεί από μια εξωτερική συσκευή. Σε αυτή την περίπτωση η προκύπτουσα έξοδος των κυττάρων μπορεί να φανεί στο τέταρτο τεταρτημόριο της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V όταν η τάση είναι θετική και το ρεύμα είναι αρνητικό. Έτσι, στην προκειμένη περίπτωση με την ισχύ εξόδου των κυττάρων το τέταρτο τεταρτημόριο χρησιμοποιείται και αυτό μπορεί να φανεί από τα στοιχεία στο κεφάλαιο 3.4 της παρούσας έκθεσης.

Το πείραμα έδειξε ότι ένα από τα κρίσιμα πράγματα για την καλή λειτουργία των κυττάρων ήταν η απόσταση μεταξύ των κυττάρων και της πηγής θερμότητας. Όσο πιο κοντά ήταν η απόσταση τόσο καλύτερα τα αποτελέσματα, αλλά υπήρχε ένα πρόβλημα, αυτό του περιορισμού των κυττάρων σε θερμότητα. Συνεπώς απόσταση 1,5 εκατοστού χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να μην καταστραφούν τα κύτταρα και παράλληλα να έχουμε καλά αποτελέσματα.

### **4.3 Προβλήματα που ανακύπτουν:**

Εδώ παρατίθενται ορισμένα από τα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Ένα από τα προβλήματα ήταν ο καπνός που έβγαινε από τον καυστήρα παραφίνης και είχε κάνει μαύρο το φίλτρο του γυάλινου σωλήνα. Αυτό εμπόδισε ώστε να προκύψουν καλύτερα αποτελέσματα. Ένα άλλο πράγμα ήταν η φλόγα του καυστήρα που δεν ήταν σταθερή σε μια θέση αλλά ποίκιλε λόγω του εξαερισμού της θέσης στην οποία πάρθηκαν οι μετρήσεις.

Πρέπει επίσης να ειπωθεί ότι οι συνδέσεις που έγιναν για τα κύτταρα για να χρησιμοποιηθούν ήταν τόσο ισχυρές όσο αναμενόταν και είχε ως αποτέλεσμα αρκετά κύτταρα να μην έχουν την αναμενόμενη απόδοση. Η κολλώδης ταινία χαλκού που χρησιμοποιήθηκε για τις μπροστινές επαφές των κυττάρων δεν λειτούργησε σε πολλά κύτταρα. Αυτός ήταν ο κύριος λόγος για το πείραμα να αποτύχει να τροφοδοτήσει το μικρό ραδιόφωνο. Ειδικότερα, το ραδιόφωνο χρειάζεται 3.3V για να λειτουργήσει, αλλά η συνολική τάση που θα μπορούσε να ληφθεί ήταν 1.5V.

Τέλος, λόγω των περιορισμών του χρόνου το πείραμα δεν θα μπορούσε να αναδιαμορφωθεί και να επανεξεταστεί και σε μια περίπτωση που η κολλώδης ταινία χαλκού δοκιμάστηκε να ληφθεί από τις μπροστινές επαφές του κυττάρου καταστράφηκε.



## 5.0 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το σχέδιο αυτό ήταν η μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό επιτεύχθηκε, αλλά όχι στο μέγεθος που αναμενόταν. Το σχέδιο έπρεπε να τροφοδοτήσει ένα μικρό ραδιόφωνο, αλλά αυτό δεν συνέβη λόγω των προβλημάτων που αναφέρονται στην ενότητα 4.3, αλλά παρά το γεγονός αυτό εν μέρει το σύστημα λειτούργησε και χρησιμοποιώντας δύο από τα κύτταρα που εργάστηκαν τροφοδοτήθηκε μια μικρή λάμπα της τάσης του 1.25V και ρεύματος 0.25mA. Ως εκ τούτου το επιθυμητό αποτέλεσμα έχει επιτευχθεί, το οποίο ήταν η μετατροπή της θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τα TPV είναι γνωστά από την εποχή του '60, αλλά τα υλικά και η τεχνολογία πίσω από τα TPV κατά τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια έχει βελτιωθεί σημαντικά με αποτέλεσμα την ποιότητα των υλικών καθώς και στις πρώτες μικρές εμπορικές θερμάστρες οι οποίες μπορούν να παράγουν αρκετή ηλεκτρική ενέργεια ώστε να τροφοδοτήσει ένα ραδιόφωνο ή μια τηλεόραση.

Κάποιες άλλες εφαρμογές των TPV σήμερα είναι οι εξής:

- Ηλεκτρικά αυτό-τροφοδοτούμενα συστήματα θέρμανσης (ηλεκτρική ενέργεια περίπου 120W)
- Φόρτιση μπαταριών με κουζίνες κατασκήνωσης
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας σε αγροτικά σπίτια χωρίς ηλεκτρικό δίκτυο
- Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου υψηλής ζήτησης (ηλεκτρική ενέργεια περίπου 1 kW).

## 6.0 ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

Η παραγωγή και η χρήση της ενέργειας έχει ήδη δημιουργήσει περισσότερες περιβαλλοντικές ζημίες από οποιαδήποτε άλλη οικονομική δραστηριότητα. Παρά το γεγονός ότι έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στη βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξακολουθούν να είναι υπεύθυνοι για το 72 τοις εκατό του συνόλου εκπομπής του διοξειδίου του θείου και το 33 τοις εκατό του συνόλου εκπομπής οξειδίων του αζώτου. Προκειμένου να αντιμετωπίσει την ταχέως αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια ενώ παράλληλα να βοηθήσει να διατηρήσει ένα υγιές παγκόσμιο περιβάλλον, η καθαρή ενέργεια είναι απαραίτητη για να τροφοδοτήσει την παγκόσμια οικονομία.

Μια από τις τελευταίες λύσεις στα ανωτέρω είναι η χρήση των TPV. Τα τεράστια ποσά της θερμότητας των βιομηχανικών αποβλήτων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από την TPV τεχνολογία για μια ηλεκτρική παραγωγή μεγάλης κλίμακας.

Το ακαδημαϊκό και βιομηχανικό ενδιαφέρον για την κατασκευή TPV έχει επεκταθεί γρήγορα τα τελευταία χρόνια. Ο στρατός ενδιαφέρεται επίσης για TPV επειδή αυτές οι γεννήτριες δεν έχουν κινούμενα μέρη επομένως δεν κάνουν θόρυβο. Άλλες μελλοντικές εφαρμογές για TPV περιλαμβάνουν:

- Βοηθητικές πηγές ισχύος στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα μπαταριών για ιδιαίτερα αξιόπιστα τροφοδοτικά, ακόμα και κάτω από όξινες κλιματικές συνθήκες
- Διαστημικές και υποβρύχιες εφαρμογές που χρησιμοποιούν σταθμούς πυρηνικής ενέργειας.

## 7.0 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- “Solar Cells Device Physics” by Stephen J.Fonash

ISBN: 0-12-261980-3

- “Solar Electricity” by Tomas Markvart

ISBN: 0-471-98852-9

- “Fundamentals of Solar Cells” by Alan L.Fahrenbruch & Richard H.Bube

ISBN: 0-12-247680-8

- “Solar Cells and Optics for Photovoltaic Concentration” by Antonio Luque

- “Solar Cells” by Martin A.Green

ISBN: 0-13-82270

- “Thermophotovoltaics: Can they make a significant contribution?” paper written by Prof. S.K.Haywood

- “Optoelectronic Semiconductor Devices” by David Wood

ISBN: 0-13-638750-0

- “Solar Cells” by M.M.Koltun

- “Current topics in Photovoltaics” by T.J.Coutts & J.D.Meakin

ISBN: 0-12-153413-3