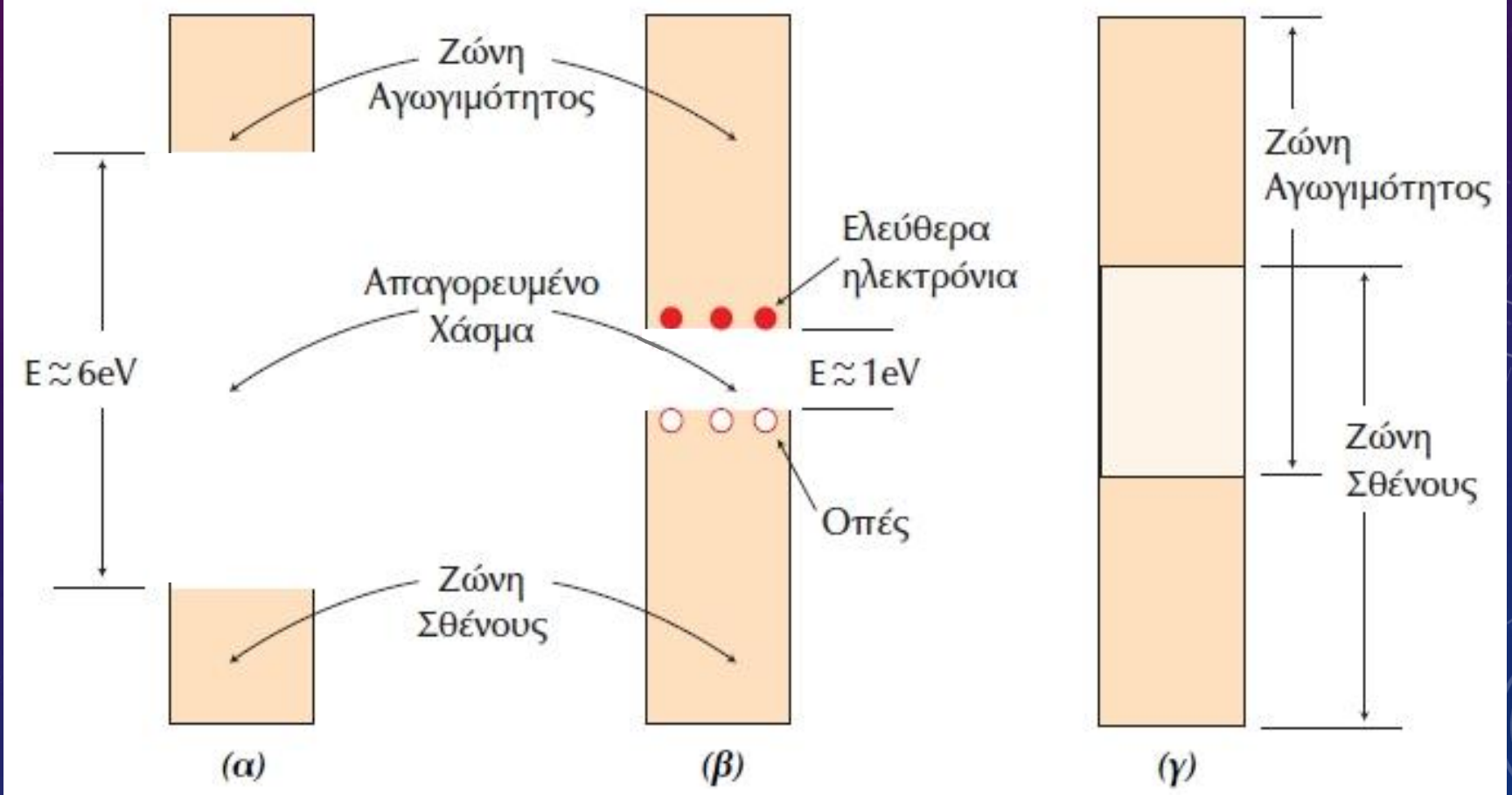




# Οπτικές επικοινωνίες – κυματοδηγοί

**Διδάσκων: Τσορμπατζόγλου Ανδρέας**

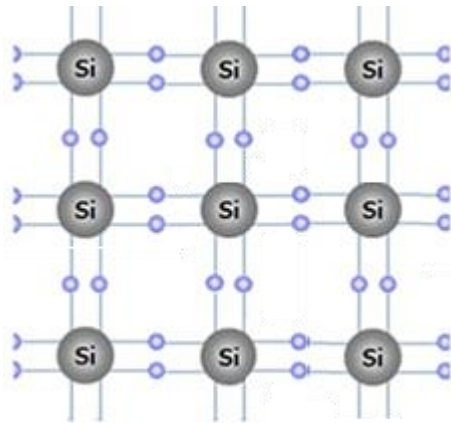
**Αγωγοί  
Ημιαγωγοί  
Μονωτές**



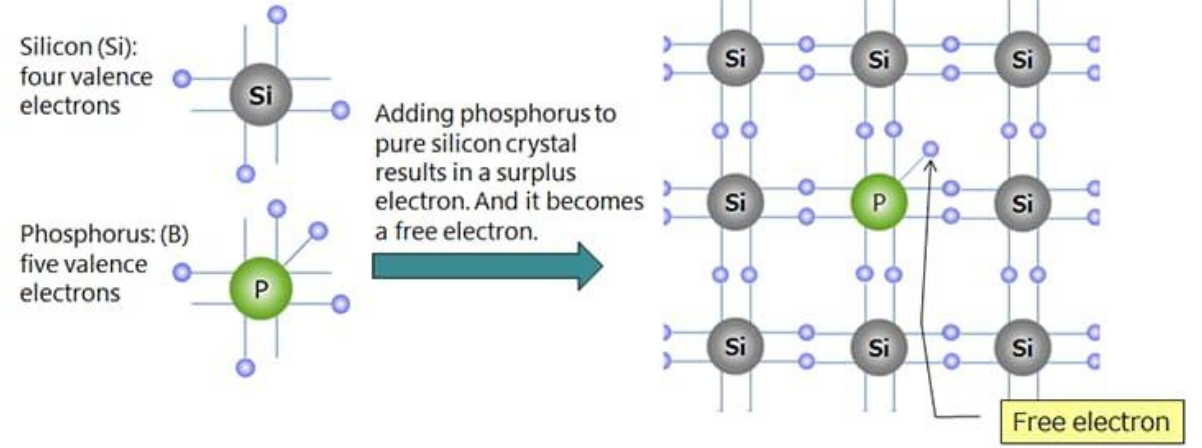
Ενεργειακές ζώνες σε ένα (α) μονωτή, (β) ημιαγωγό και (γ) μέταλλο

**p και n  
τύπου  
ημιαγωγοί**

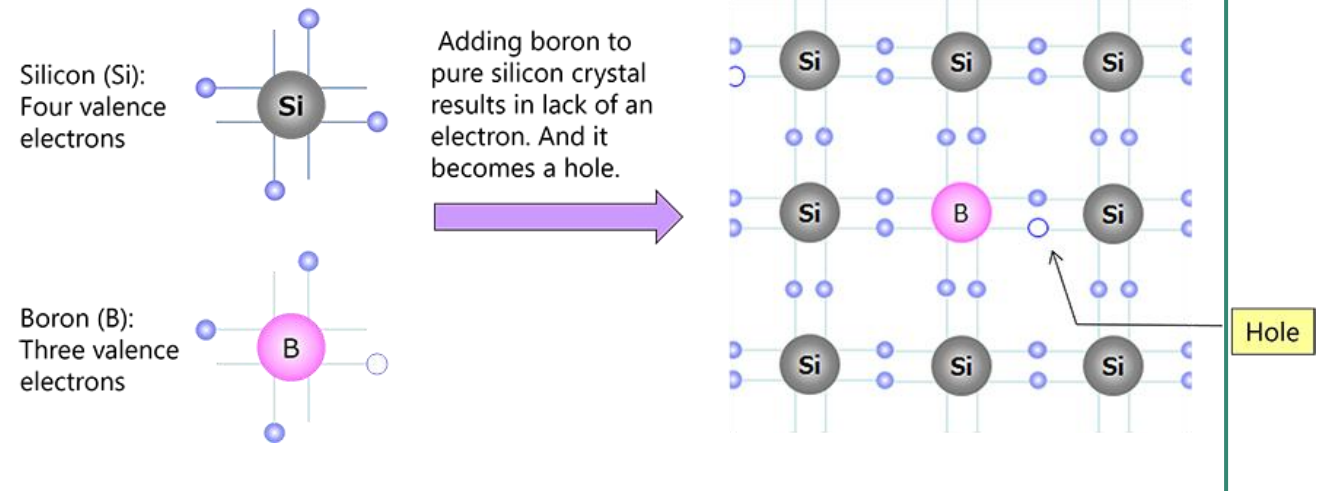
**Ενδογενής ημιαγωγός  
Χωρίς προσμίξεις**



Στον ημιαγωγό n τύπου έχω αντικαταστήσει κάποια άτομα Si με άτομα που συνδέονται με ένα ηλεκτρόνιο παραπάνω

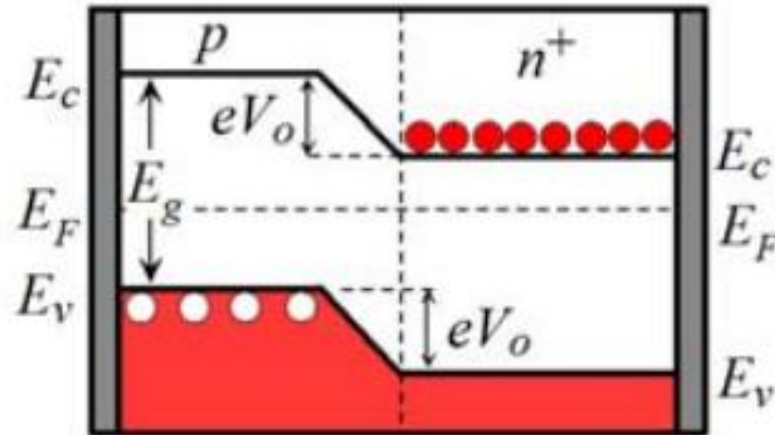


Στον ημιαγωγό p τύπου έχω αντικαταστήσει κάποια άτομα Si με άτομα που συνδέονται με ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο



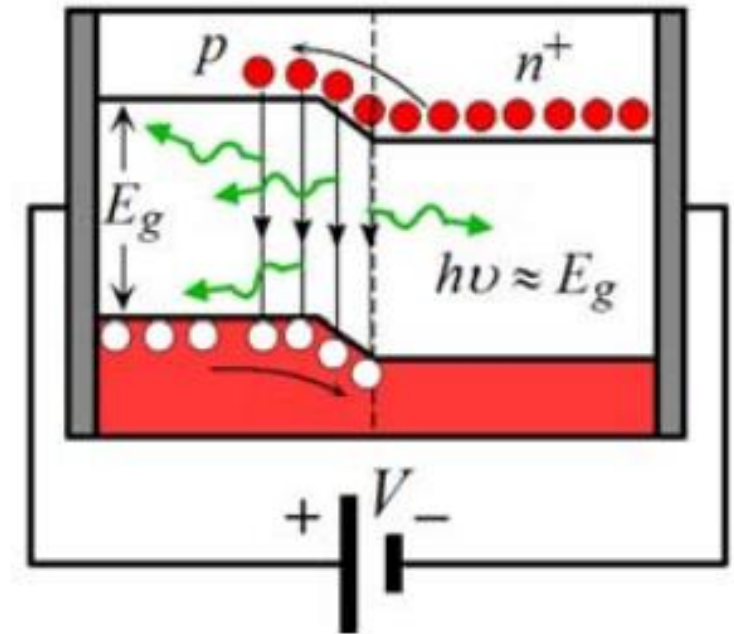
# Διάγραμμα ενεργειακών ζωνών επαφής $pn^+$

Χωρίς πόλωση



- Ηλεκτρόνιο στη ΖΑ
- Οπή στη ΖΣ

Με ορθή πόλωση



- Η ενέργεια Fermi είναι ίδια σε όλη τη διάταξη.
- Η περιοχή απογύμνωσης εκτείνεται κυρίως εντός της περιοχής p.

- Τα ηλεκτρόνια που εγχέονται προς την περιοχή p είναι πολύ περισσότερα από τις οπές που εκχέονται προς την περιοχή n.

- Η επανασύνδεση εντός της περιοχής p σε απόσταση  $L_h$  παράγει φωτόνια (ηλεκτροφωταύγεια έγχυσης).

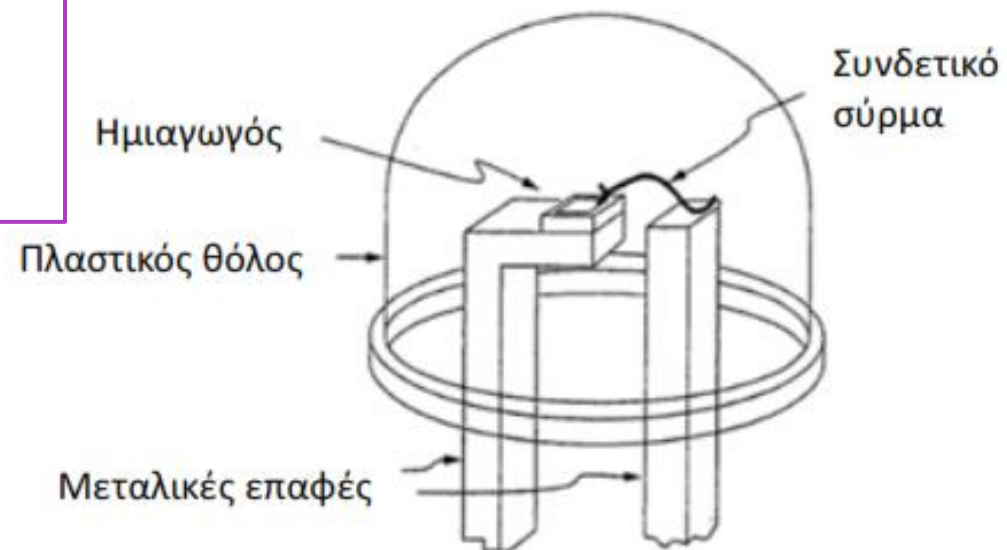
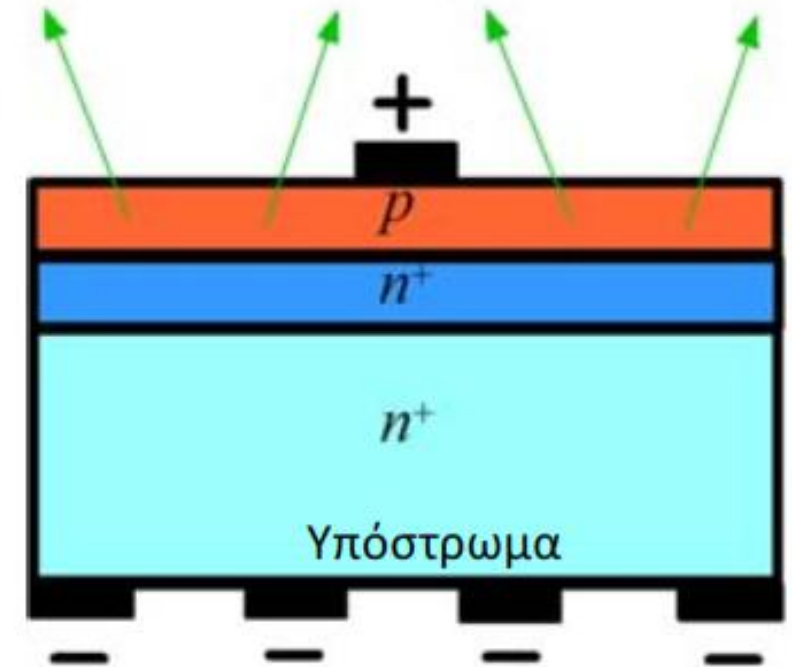
Μηχανισμός παραγωγής φωτονίων

Φωτοдиодοι  
Επαφές pn

# Δομή ενός LED

- Τα εκπεμπόμενα φωτόνια κινούνται σε τυχαίες διευθύνσεις μέσα στο LED.
- Το LED πρέπει να κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε τα φωτόνια να μην απορροφούνται από τους ημιαγωγούς δίνοντας νέα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, με αποτέλεσμα να προκύπτουν διατάξεις χαμηλής ισχύος.
- Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή **διατάξεων ετεροδομών**, στις οποίες χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα.

Φωτοдиодοι  
Επαφές pn - 2



# Διάταξη διπλής ετεροδομής

**Ομοεπαφή:** Επαφή p-n από το ίδιο υλικό με διαφορετικές νοθεύσεις.

**Ετεροεπαφή:** Επαφή p-n από υλικά με διαφορετικό  $E_g$

**Διάταξη ετεροδομής:** Διάταξη που αποτελείται από ημιαγωγούς με διαφορετικό  $E_g$

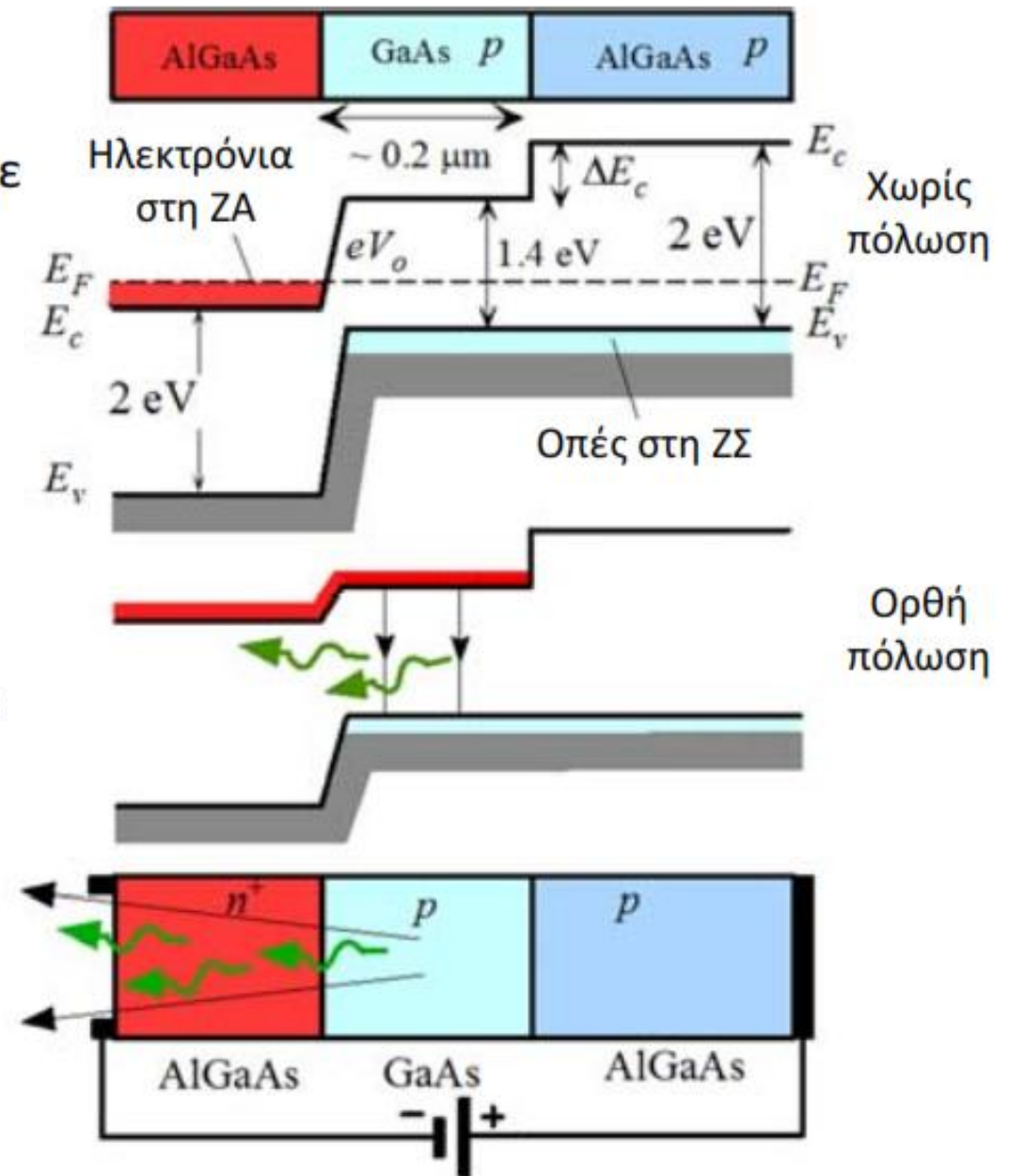
Διάταξη **διπλής ετεροδομής** για αυξημένη ένταση φωτός.

- Δύο επαφές μεταξύ ημιαγωγών με διαφορετικό  $E_g$

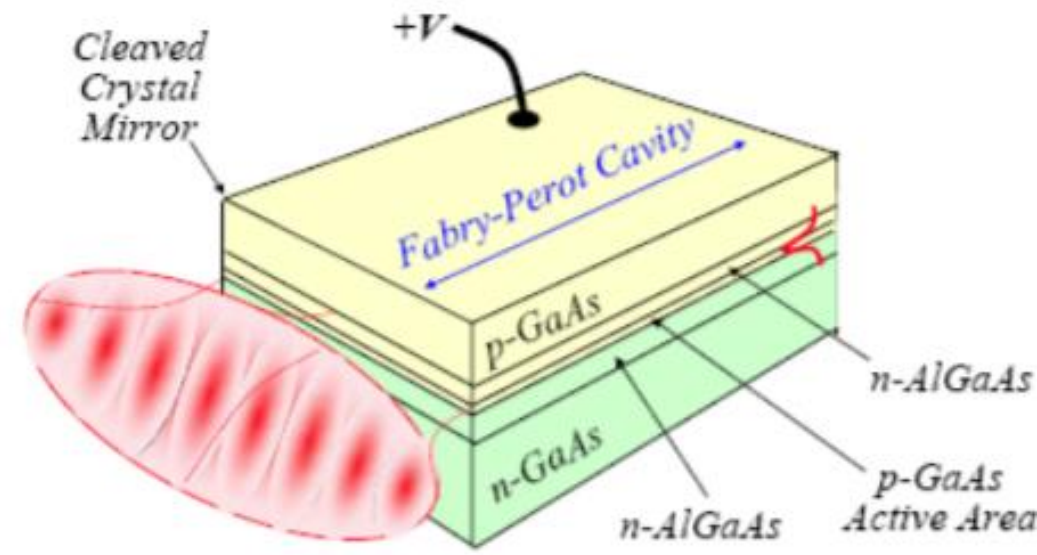
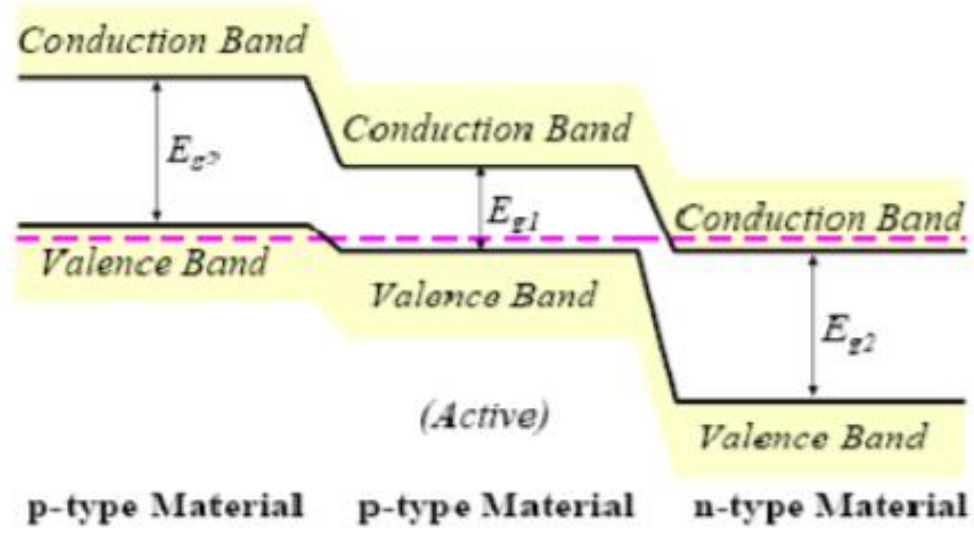
$$E_g(\text{AlGaAs}) = 2\text{eV}$$

$$E_g(\text{GaAs}) = 1.4\text{eV}$$

- Ισχυρά νοθευμένη περιοχή  $n^+$
- Λεπτό στρώμα p-GaAs με ελαφρά νόθευση.

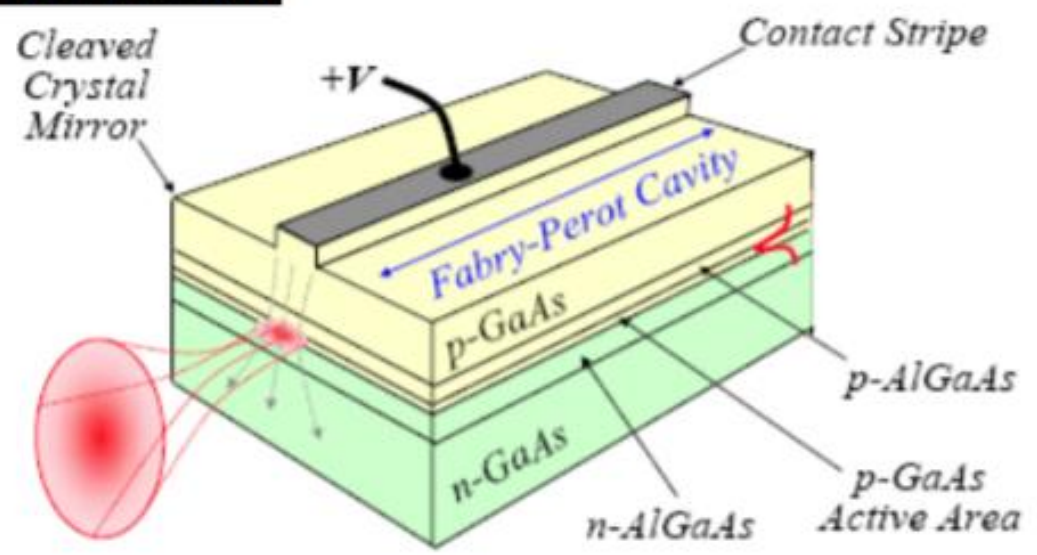
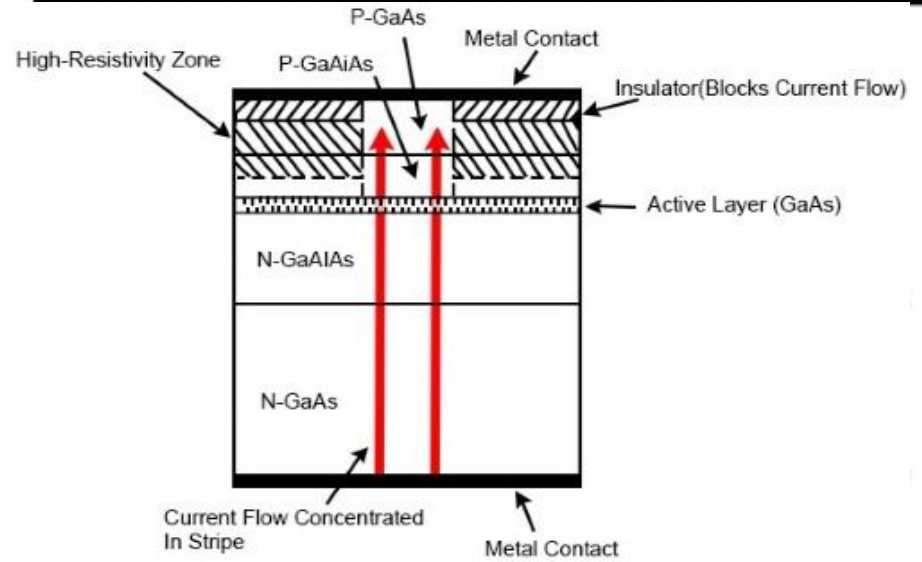


Δύο κρύσταλλοι με διαφορετικά ενεργειακά διακείνα μεταξύ τους περιορίζουν το φάσμα εξόδου στον κάθετο άξονα διάδοσης



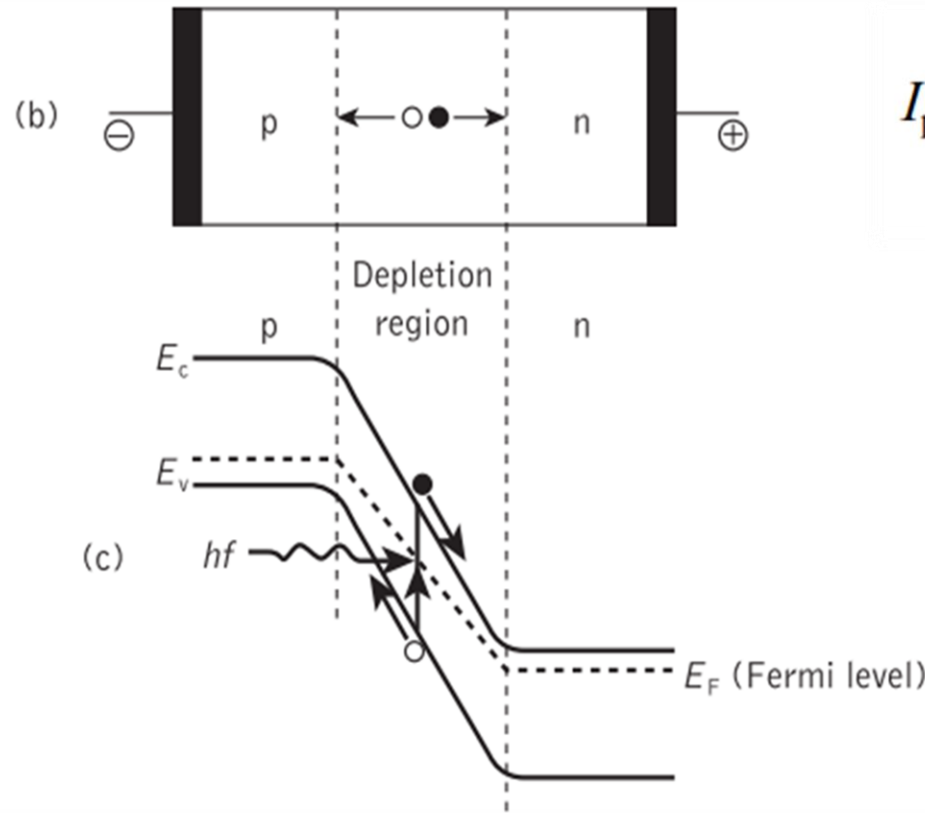
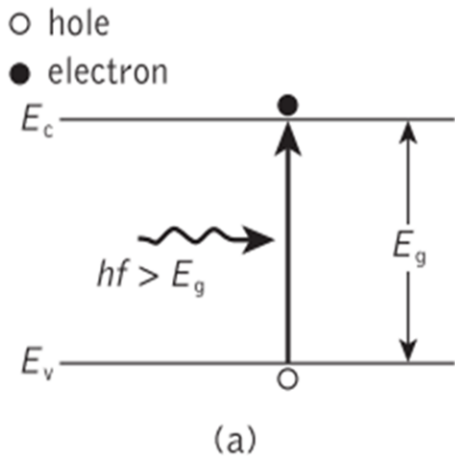
Laser  
ετεροδομής

### Laser κατευθυνόμενου δείκτη διάθλασης



# Οπτικοί ανιχνευτές ή φωτοανιχνευτές

- Ο φωτοανιχνευτής είναι μια διάταξη που ανιχνεύει φως και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα.
- Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση φωτεινής ακτινοβολίας σε διάφορα μήκη κύματος.
- Οι φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές, όπως στις οπτικές επικοινωνίες, στα ηλεκτρονικά, στις εφαρμογές ασφαλείας, και σε επιστημονικές έρευνες.



$$I_p = \frac{P_o e (1 - r)}{hf} [1 - \exp(-\alpha_0 d)]$$

$P_o$ : οπτική ισχύς

$e$ : το φορτίο του ηλεκτρονίου

$r$ : Fresnel reflection

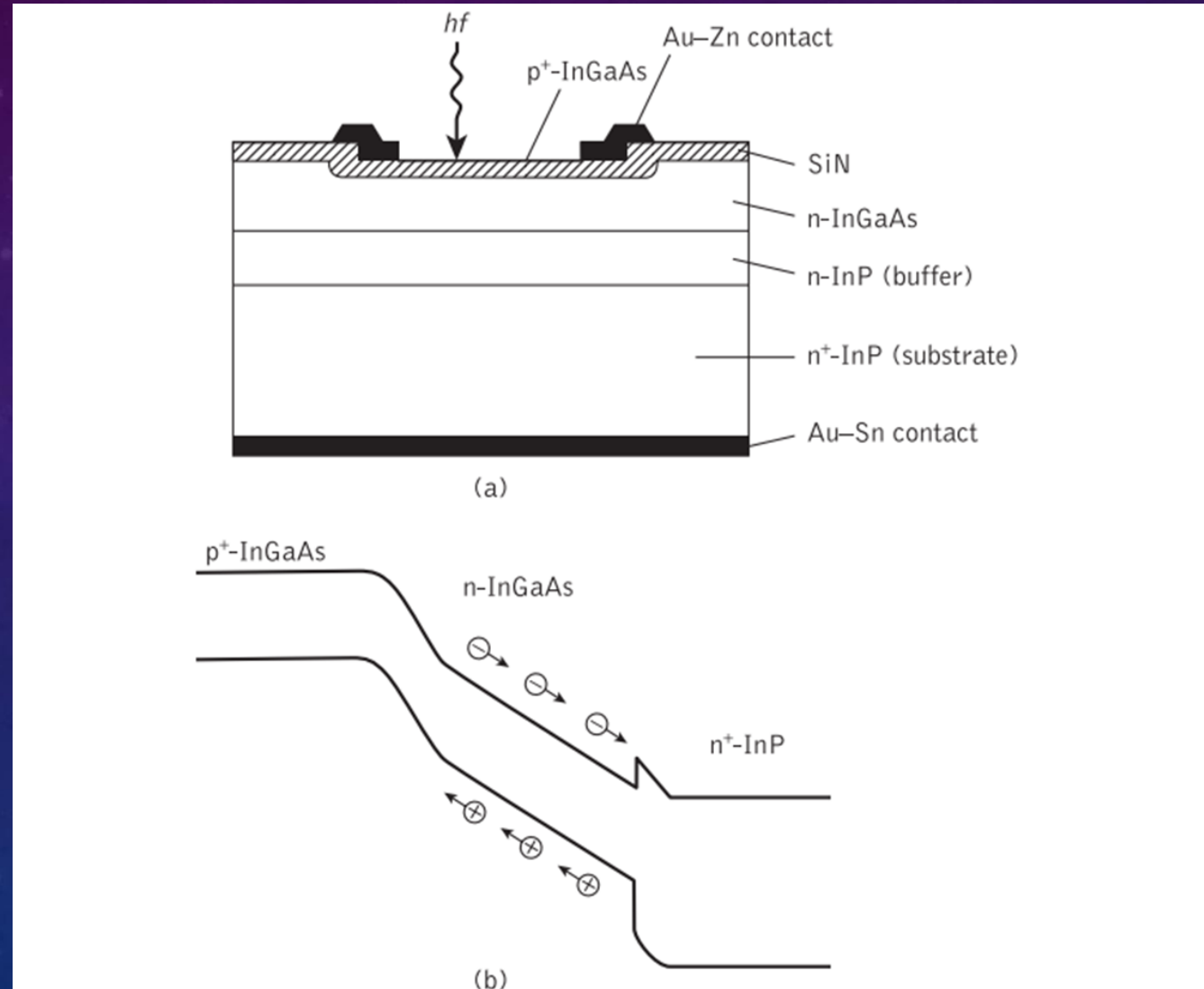
$h$ : σταθερά του Planck

$\alpha_0$ : ο συντελεστής απορρόφησης

$d$ : το εύρος της περιοχής απορρόφησης

# Οπτικοί ανιχνευτές ή φωτοανιχνευτές - 3

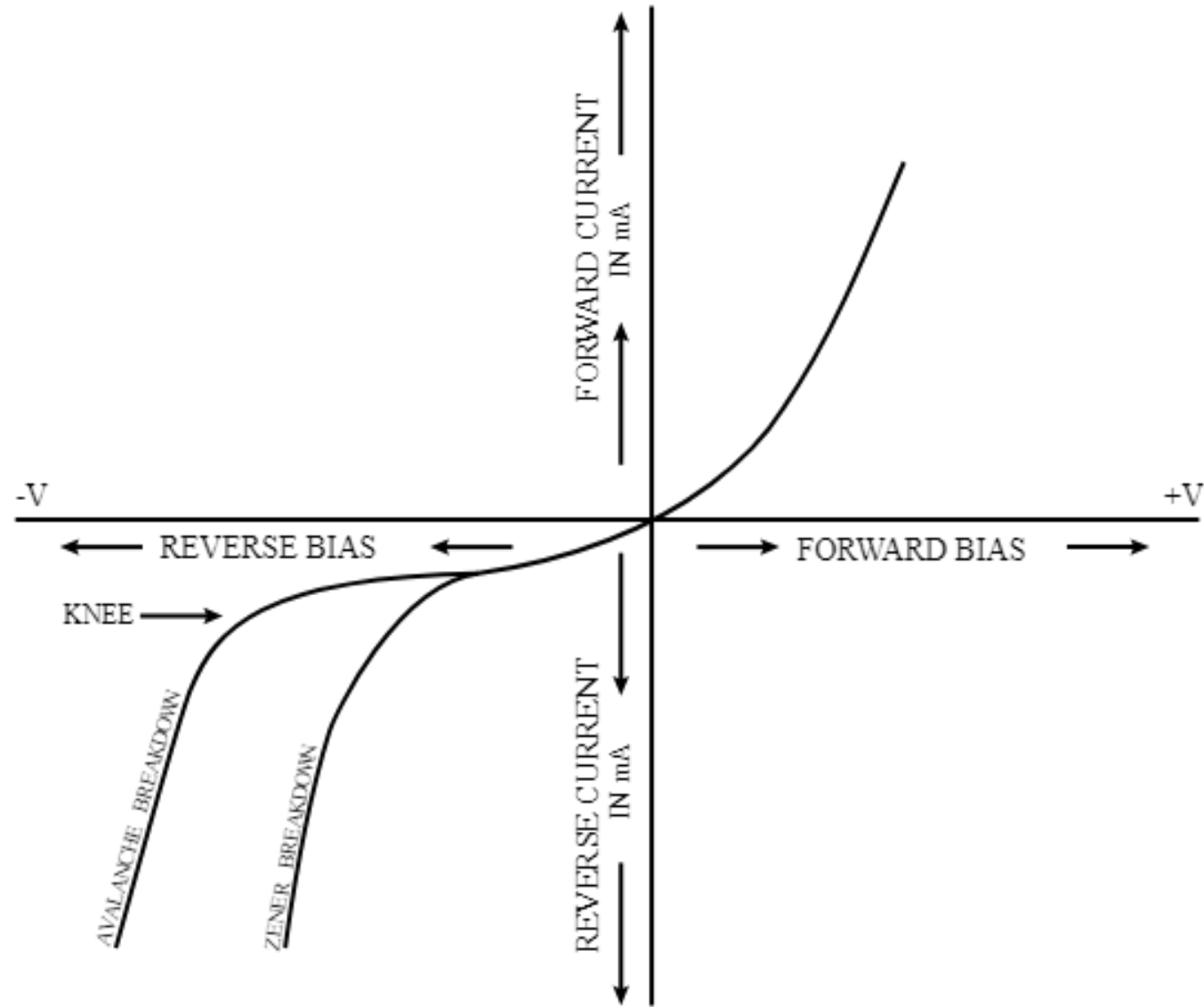
Τρόπος κατασκευής  
φωτοανιχνευτών



# Φωτοδίδος χιονοστιβάδας - 1

- Όταν το φως πέφτει πάνω στη φωτοδίοδο, τα φωτόνια δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών.
- Η φωτοδίοδος λειτουργεί υπό υψηλή αντίστροφη τάση, με αποτέλεσμα το ηλεκτρικό πεδίο στο ενεργό της υλικό να είναι πολύ ισχυρό. Αυτό επιταχύνει τα παραγόμενα ηλεκτρόνια, τα οποία αποκτούν αρκετή ενέργεια καθώς κινούνται προς την κάθοδο.
- Φαινόμενο Χιονοστιβάδας: Τα επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια συγκρούονται με άτομα του υλικού, απελευθερώνοντας πρόσθετα ηλεκτρόνια μέσω κρούσεων. Αυτά τα νέα ηλεκτρόνια επιταχύνονται και δημιουργούν περαιτέρω κρούσεις, με αποτέλεσμα έναν πολλαπλασιασμό των φορέων φόρτισης. Αυτό δημιουργεί ένα είδος "χιονοστιβάδας" ηλεκτρονίων που ενισχύει το αρχικό φωτορεύμα.
- Ενίσχυση Σήματος: Το τελικό αποτέλεσμα είναι η σημαντική ενίσχυση του ηλεκτρικού ρεύματος που προκύπτει από την αρχική απορρόφηση των φωτονίων. Η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας μπορεί να επιτύχει υψηλά κέρδη, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ευαισθησία, όπως ανίχνευση χαμηλής έντασης φωτός ή τηλεπικοινωνίες. Με αυτό τον τρόπο, οι φωτοδίοδοι χιονοστιβάδας επιτρέπουν την ανίχνευση και την ενίσχυση ασθενών φωτεινών σημάτων με μεγάλη απόδοση.

# Φωτοдиодος χιονοστιβάδας - 2



# Ερωτήσεις

- Τι είναι ένας ημιαγωγός p τύπου;
- Τι είναι ένας ημιαγωγός n τύπου;
- Πώς παράγονται φωτόνια σε μία φωτοδίοδο;
- Γιατί κατασκευάζονται LED ετεροδομών;
- Τι είναι ένα φωτοανιχνευτής;
- Σε ποιες εφαρμογές χρησιμοποιούνται φωτοανιχνευτές;