

Ανιχνευτές οπτοηλεκτρονικής

Η επεξεργασία πληροφορίας απαιτεί **ανίχνευση** πληροφορίας

Ανίχνευση σημάτων με οπτικές συχνότητες (10^{14} Hz) \Leftrightarrow

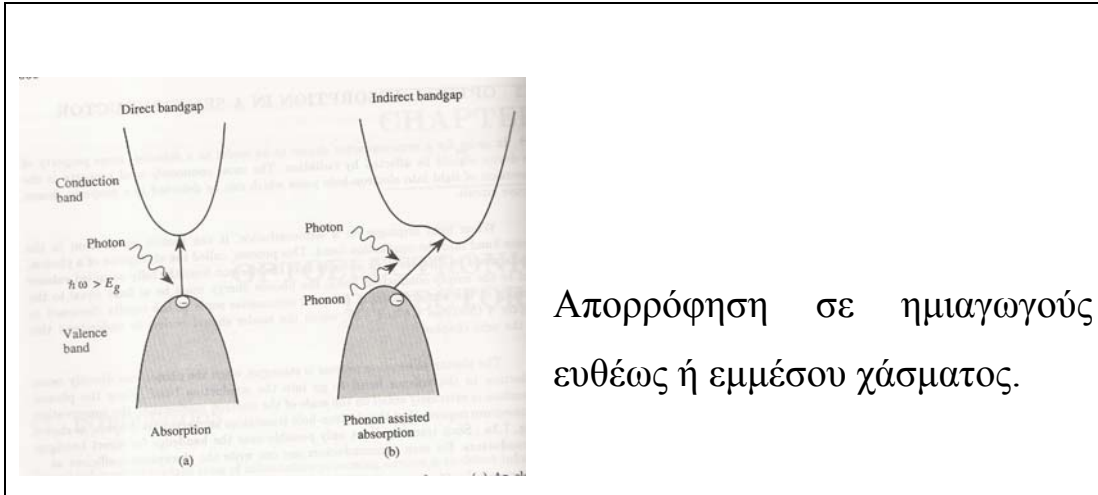
το φως \rightarrow ηλεκτρικό σήμα \Leftrightarrow ενίσχυση + ανίχνευση με FET, διπολικά τρανζίστορ, διόδους

Πρόβλημα στην ανάπτυξη ανιχνευτών φωτός: δεν υπάρχουν ανιχνευτές με ικανότητα συντονισμού σε διαφορετικά λ ή επιλεκτικοί ανιχνευτές που λειτουργούν σε επιλεγμένες περιοχές του φάσματος.

Σημαντικά χαρακτηριστικά των ανιχνευτών

- **Ικανότητα συντονισμού (tunability) (f/ λ),** ειδικά στην περιοχή των μεγάλων λ (10-14 μ m) για εφαρμογές στην νυχτερινή όραση, θερμική απεικόνιση (ιατρική), όραση μέσω ομίχλης κλπ.
- **Ταχύτητα απόκρισης που ελέγχεται από τη σταθερά χρόνου RC** και τον μεταβατικό χρόνο (transit time) των φορέων
- **Ολοκλήρωση:** ανιχνευτές Schottky

Η απορρόφηση φωτονίων στους ημιαγωγούς γίνεται όταν $h\nu \geq E_g$ και είναι ισχυρότερη για κατακόρυφες μεταπτώσεις (διατήρηση της ορμής)



Απορρόφηση σε ημιαγωγούς ευθέως ή εμμέσου χάσματος.

Συντελεστής απορρόφησης για ημιαγωγούς ευθέως χάσματος

$$\alpha(h\nu) \cong 4 \times 10^6 \left(\frac{m_r^*}{m_0} \right)^{3/2} \frac{(\hbar\omega - E_g)^{1/2}}{\hbar\omega} \text{ cm}^{-1}$$

όπου m_r^* η ανηγμένη μάζα e-h.

Ο συντελεστής απορρόφησης για ημιαγωγούς εμμέσου χάσματος

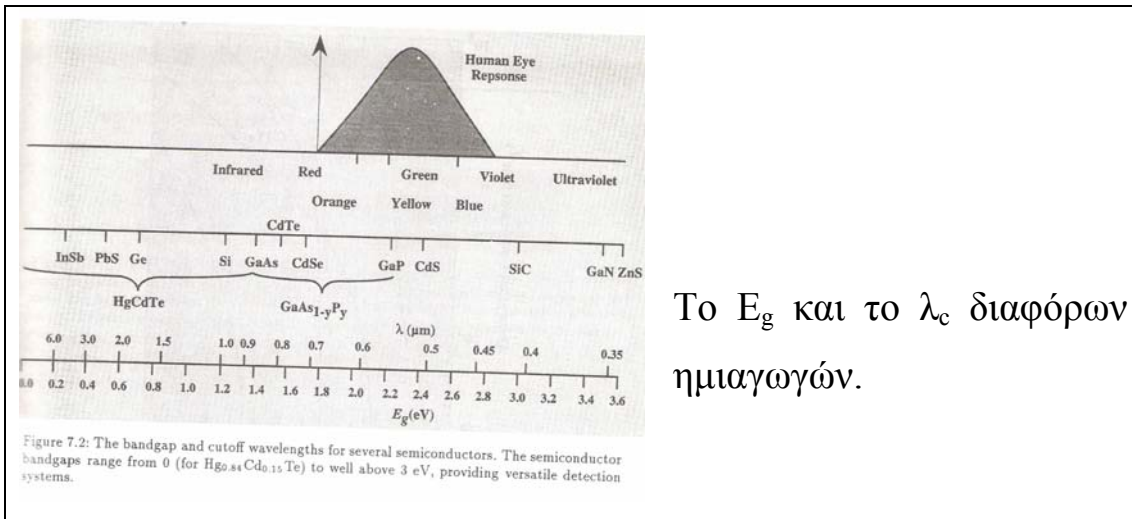
$$\alpha_{\text{indirect}} = (K_0 + K_1(T))(\hbar\omega - E_g)^2$$

όπου K_0 σταθερά και $K_1(T)$ παράγοντας που εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Αυξανόμενη της T αυξάνεται ο $K_1(T) \Rightarrow$ αυξάνεται και ο συντελεστής απορρόφησης.

Γενικά $\alpha_{\text{indirect}} < \frac{\alpha_{\text{direct}}}{1000}$ για την ίδια τιμή του $(\hbar\omega - E_g)$

Μήκος κύματος αποκοπής λ_c :
$$\lambda_c = \frac{hc}{E_g} = \frac{1.24}{E_g(\mu\text{m})} \mu\text{m}$$

Η απορρόφηση μηδενίζεται όταν $\lambda > \lambda_c$.



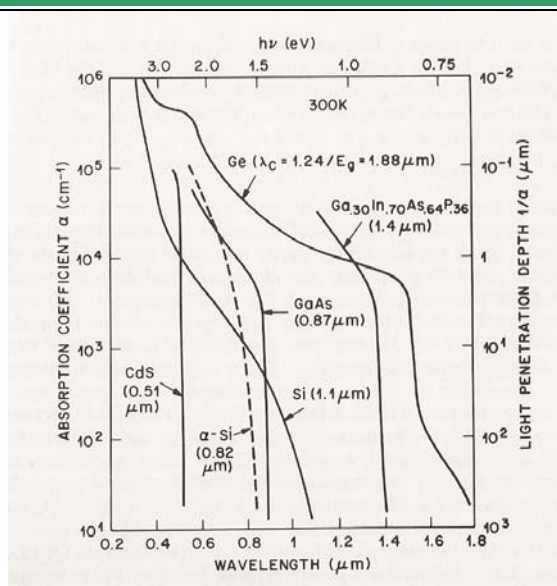
Το E_g και το λ_c διαφόρων ημιαγωγών.

Τα υλικά εμέσου χάσματος χρησιμοποιούνται για κατασκευή ανιχνευτών.

Ισχυρή απορρόφηση σε δείγμα μήκους L συμβαίνει όταν $L > \frac{1}{\alpha(\hbar\omega)}$

Παράδειγμα:

εμπομπός	ανιχνευτής
GaAs laser emission (1.45eV)	● Si => $L \approx 10-20\mu\text{m}$.
	● Ge => $L \approx 1\mu\text{m}$



Συντελεστής απορρόφησης α διαφόρων ημιαγωγών. Η τιμή του α αυξάνει βραδέως σε ημιαγωγούς εμμέσου χάσματος.

Επίδραση των προσμείξεων

Υλικά για ανίχνευση μεγάλων λ

- ❖ Ημιαγωγοί με βαθιές παγίδες στο χάσμα.
- ❖ Ημιαγωγοί με πολύ μικρό χάσμα εμφανίζουν δυσκολίες στην ανάπτυξη \Rightarrow χρησιμοποιούνται κομμάτια ημιαγωγών με προσμείξεις που έχουν μεγάλο πάχος.

Ενέργειες ιονισμού και λ_c για διάφορες προσμείξεις σε Si και Ge

ημιαγωγός	πρόσμειξη	Ενέργεια ιονισμού	λ_c (μm) για ανίχνευση
Ge	Au	0.15	8.3
	Cu	0.041	30
	B	0.0104	120
Si	In	0.155	8
	Bi	0.0706	18
	B	0.044	28

Ημιαγωγοί με προσμείξεις: έχουν καταστάσεις στο χάσμα που εισάγονται από τις προσμείξεις \Rightarrow φωτόνιο με $\hbar\omega < E_g$ μπορεί να απορροφηθεί αν προκαλέσει μετάπτωση E σε κατάσταση (defect state) στο χάσμα.

Υλικά για οπτικούς ανιχνευτές-Διαθεσιμότητα υποστρώματων

Κύρια υποστρώματα: Si, GaAs, InP, Ge

Προβλήματα με άλλα υποστρώματα: πολύ μικρά μεγέθη ή υψηλή συγκέντρωση ατελειών δομής ή πολύ υψηλό κόστος ($> \$100000/\text{cm}^2$)

\Rightarrow περιοριζόμαστε σε ημιαγωγούς με καλή πλεγματική συμφωνία με τα διαθέσιμα υποστρώματα

\Rightarrow έρευνα για buffer layers που μπορούν να παγιδεύσουν εξαρμώσεις

Επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων

Οι απώλειες σε οπτικές ίνες είναι μικρές στα $1.55\mu\text{m}$ και $1.3\mu\text{m}$ \Rightarrow

InGaAs, InGaAsP, GaAlSb, HgCdTe

Ωριμη τεχνολογία: $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ σε υποστρώματα InP

Τοπικά δίκτυα

Τυπική απόσταση 1km

Οι εκπομποί GaAs στα 0.8 μm είναι φθηνότεροι από υλικά που εκπέμπουν στα 1.55 μm και 1.3 μm

Ανίχνευση μεγάλων λ

Εφαρμογές : ιατρική διάγνωση & θερμική απεικόνιση για νυχτερινή όραση

$\lambda \rightarrow 20 \mu\text{m} \Rightarrow$ απαιτούνται ημιαγωγοί πολύ μικρού E_g (HgCdTe, PbTe, PbSe, InSb) ή ημιαγωγοί με εξωγενείς ατέλειες (Si, Ge) ή ετεροδομές

Ανιχνευτές υψηλής ταχύτητας

GaAs που αναπτύσσεται σε χαμηλή θερμοκρασία \rightarrow μεγάλη συγκέντρωση ατελειών δομής \rightarrow μικρός χρόνος ανασύνδεσης φορέων $\cong 1\text{ps}$ (σε σύγκριση με 1ns) \rightarrow συστήματα ανίχνευσης με υψηλή ταχύτητα.

Important semiconductor systems for detectors	
InGaAs tunable	<ul style="list-style-type: none"> • 1.55 μm • Long distance communications • Can be lattice matched to InP
AlGaSb tunable	<ul style="list-style-type: none"> • Excellent optical properties • Can be used for long distance communications <p>Poor substrate availability (GaSb whose technology is not mature)</p>
InGaAsP tunable	<ul style="list-style-type: none"> • Operates at 1.55μm & 1.3μm • Long distance communications • Can be lattice matched to InP
HgCdTe tunable	<ul style="list-style-type: none"> • Excellent material for long λ applications in night vision and thermal imaging • Can be used at 1.55μm & 1.3μm • Its technology is not as advanced as the InP-based technology
Si $E_g=1.1\text{eV}$	<ul style="list-style-type: none"> • Indirect gap material with small α near the bandedge • Has high $\beta_{\text{imp}}/\alpha_{\text{imp}}$ ratio \rightarrow LAN applications • Not suitable for 1.55μm & 1.3μm
Ge $E_g=0.7\text{eV}$	<ul style="list-style-type: none"> • Indirect gap material with small α near the bandedge • Has high $\beta_{\text{imp}}/\alpha_{\text{imp}}$ ratio \rightarrow LAN and long distance applications • Not suitable for 1.55μm & 1.3μm
GaAs $E_g=1.43\text{eV}$	<ul style="list-style-type: none"> • Direct gap material • Has high $\beta_{\text{imp}} \cong \alpha_{\text{imp}}$ ratio \rightarrow not suitable for high quality detectors • Not suitable for LAN or long distance applications