



ΟΠΤΙΚΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

Μάθημα 1ο Εισαγωγή. Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών και τα οπτικά συστήματα

Αρ. Τσίπουρας, Phd
Email: aris@di.uoa.gr



Περιεχόμενα

- Ύλη και Αντικείμενο του μαθήματος
- Η εξέλιξη των Τηλεπικοινωνιών
- Η εξέλιξη των οπτικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων
- Το βασικό οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα
- Τα δομικά στοιχεία του οπτικού τηλ. Συστήματος
- Εφαρμογές



Αντικείμενο και Ύλη μαθήματος

- Οργάνωση και βασικά τμήματα μιας οπτικής ζεύξης. Ολοκληρωμένες οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις
- Στοιχεία από τη θεωρία ημιαγωγών. Έμφαση στις οπτικές αλληλεπιδράσεις
- Φωτοδέκτες για τηλεπικοινωνίες (τύποι χαρακτηριστικά, επιδόσεις)
- Φωτοπομποί για τηλεπικοινωνίες (τύποι χαρακτηριστικά, επιδόσεις)
- Οπτικοί ενισχυτές (τύποι χρήσεις, χαρακτηριστικά, επιδόσεις)
- Διατάξεις διαμόρφωσης και επεξεργασίας οπτικού σήματος



Βιβλιογραφία

- Understanding Optical communications
- Optical Fiber Communications (Senior)
- Οπτικοηλεκτρονική Ν. Θεοφάνους
- Optoelectronics: An introduction J. Wilson, J. Hawkes



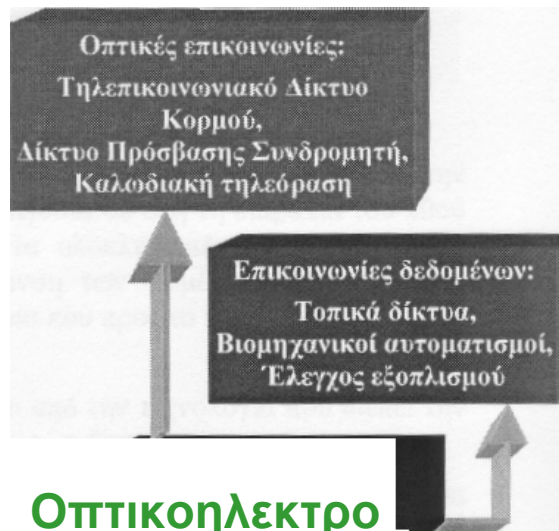
Οπτικοηλεκτρονική I

- **Opto-electronics** ή **optical electronics**: είναι ο κλάδος της φυσικής και της ηλεκτρονικής που ασχολείται με διατάξεις στερεάς κατάστασης για την παραγωγή, διαμόρφωση, εκπομπή και ανίχνευση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο υπεριώδες, υπέρυθρο και ορατό τμήμα του φάσματος (0.1 μm έως 20 μm)
 - Επομένως, το αντικείμενο της Οπτικοηλεκτρονικής είναι η μελέτη διατάξεων που αλληλεπιδρούν με το φως. Ο όρος "φως", εκτός από το ορατό περιλαμβάνει και τις άορατες μορφές ακτινοβολίας όπως οι ακτίνες γ, οι ακτίνες Χ, την υπεριώδη και την υπέρυθρη.
- Οι οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις είναι ουσιαστικά οπτο-ηλεκτρικοί ή ηλεκτρο-οπτικοί μορφοτροπείς (transducers) που μετατρέπουν την οπτική ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα και το αντίστροφο.
 - Η οπτοηλεκτρονική βασίζεται στην κβαντική μηχανική, και συγκεκριμένα στα φαινόμενα που συνοδεύουν την πρόσπτωση του φωτός πάνω σε ημιαγωγικά υλικά, μερικές φορές υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου.
- Το τμήμα της οπτικοηλεκτρονικής που ασχολείται με τη μετάδοση σημάτων μέσω του φωτός, και συγκεκριμένα με τις οπτικές ίνες, διηλεκτρικούς κυματοδηγούς, κτλ, είναι γνωστό και ως φωτονική



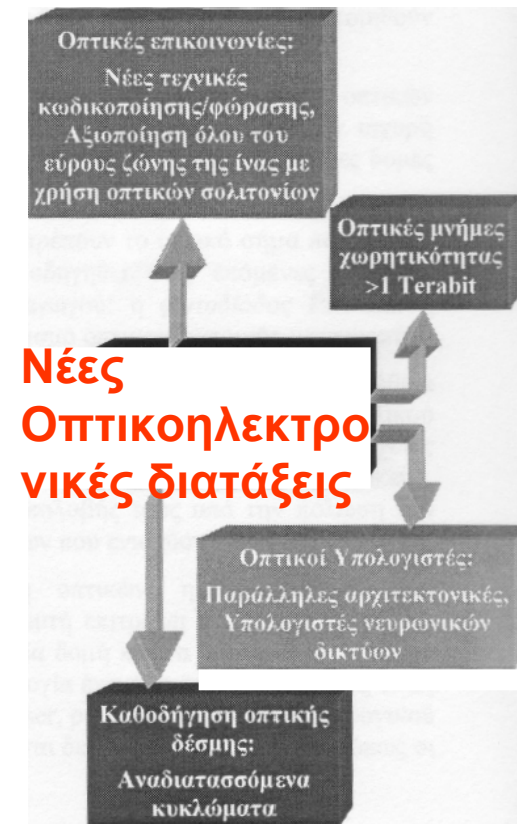
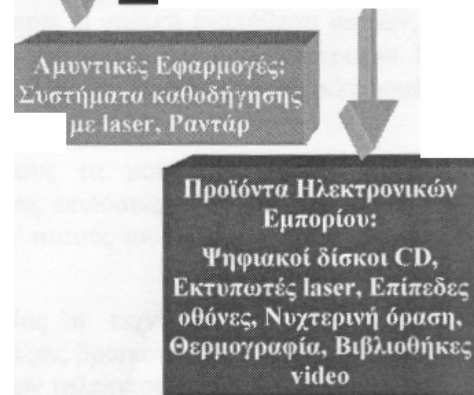
Οπτικοηλεκτρονική II

- **οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση:** ταυτόχρονη ανάπτυξη οπτικών, ηλεκτροοπτικών και ηλεκτρονικών διατάξεων στον ίδιο μονοκρύσταλλο.
- Νέες δυνατότητες και εφαρμογές
- Η οπτικοηλεκτρονική τεχνολογία είναι κεφαλαιώδους σημασίας στη νέα κοινωνία της πληροφορίας



Οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις

Οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις





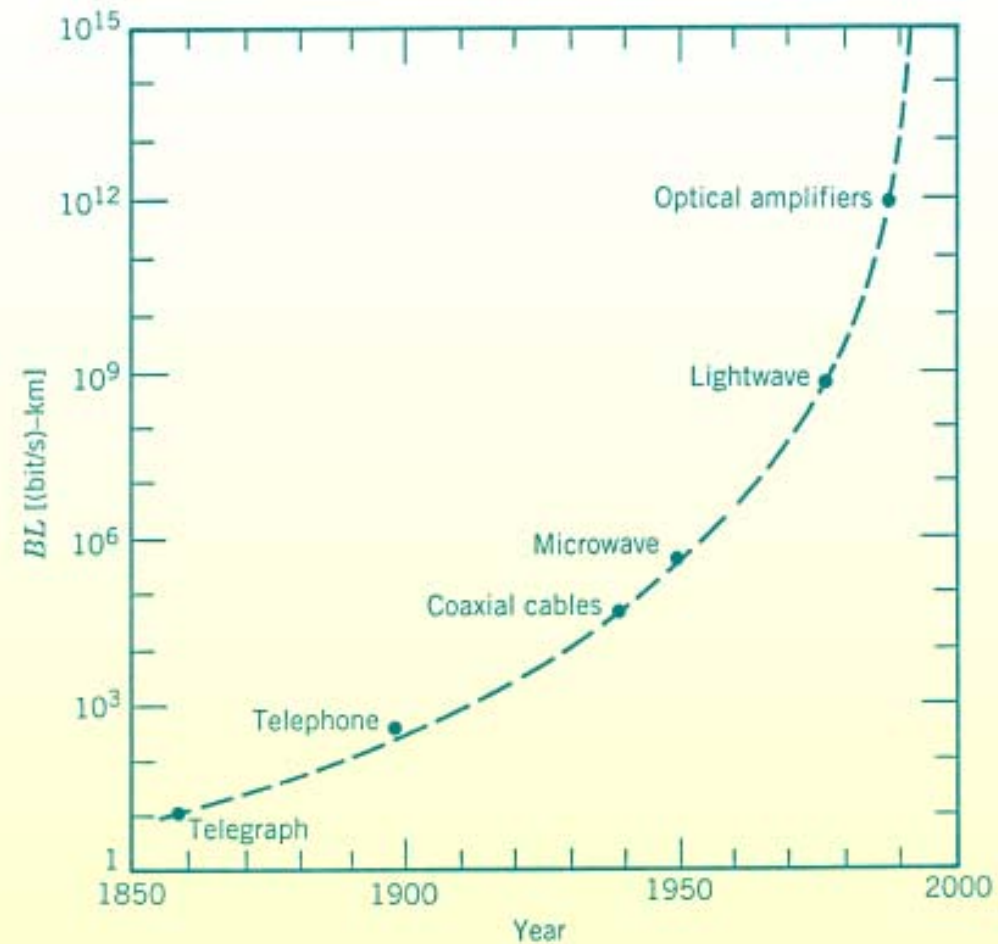
Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Electrical Era

- Telegraph; 1836
- Telephone; 1876
- Coaxial Cables; 1840
- Microwaves; 1948

Optical Era

- Optical Fibers; 1978
- Optical Amplifiers; 1990
- WDM Technology; 1996
- Multiple bands; 2002





Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

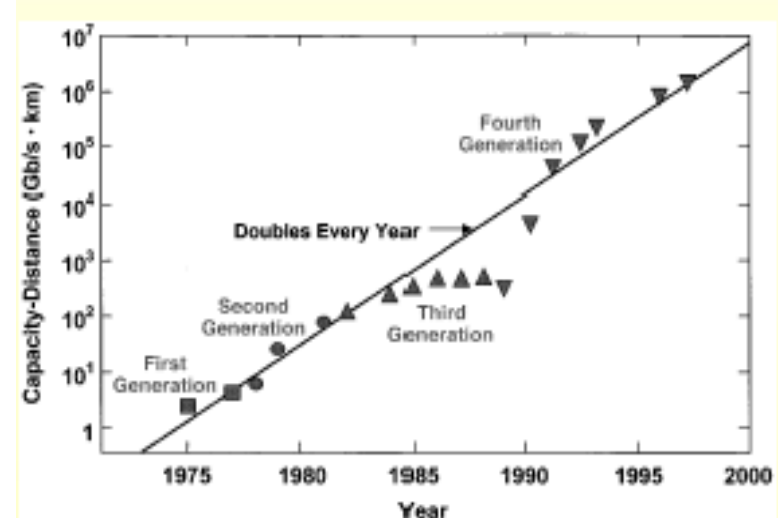
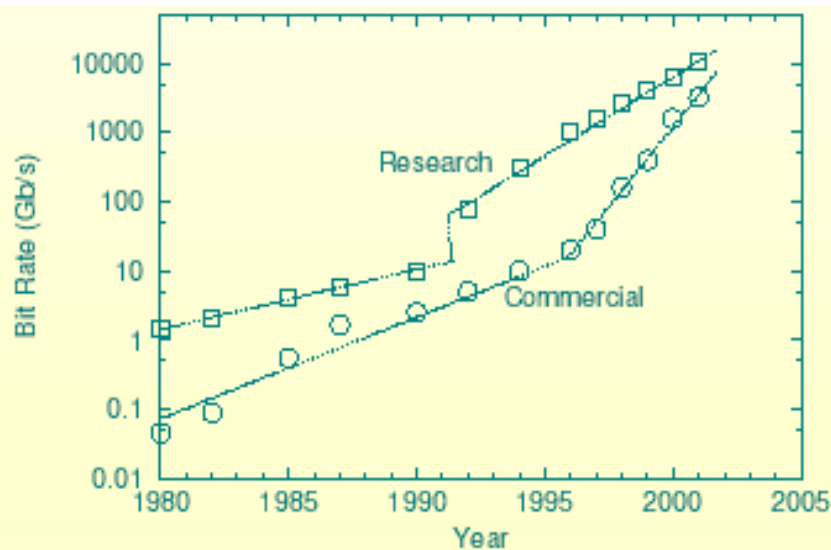
1854	Water jet as an optical waveguide (John Tyndall)
1880	The photo phone (Alexander Graham Bell)
1962	First semiconductor laser (GE, IBM, Lincoln Lab)
1966	First optical fiber, loss: 1000 dB/km (Corning Glass)
1970	Fiber with an optical attenuation of 20 dB/km (Corning Glass)
1970	AlGaAs-lasers operating at room temperature
1976	First semiconductor lasers at 1.3 and 1.55 μm
1977	First generation commercial systems (0.85 μm)
1980	Second generation commercial systems (1.3 μm)
1982	0.16 dB/km (\approx theoretical limit) singelmode fiber
1983	420 Mbit/s over 119 km fiber without repeaters (Bell Labs.)
1984	Third generation commercial systems (1.55 μm)
1985	1.37 Tbit•km/s WDM system; 10 channels @ 2 Gbit/s (Bell Labs.)
1986	Semiconductor laser with 20 GHz bandwidth (Bell Labs.,GTE)
1986	First erbium-doped fiber optical amplifier
1988	Trans-Atlantic and trans-Pacific cable systems (565 Mbit/s)
1989	Coherent semiconductor laser with sub-MHz spectral linewidth
1990	2.5 Gbit/s repeaterless soliton transmission over 13 Mm (Bell Labs.)
1992	Fourth-generation commercial systems (amplifiers+WDM)
1995	Repeaterless (fiber amplifiers) trans-oceanic cable systems (5 Gbit/s)
1997	Commercial WDM systems
2001	1Tb/s OTDM transimision over 70 km (NTT)
2003	10 Tb/s over 10 Mm



Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ I

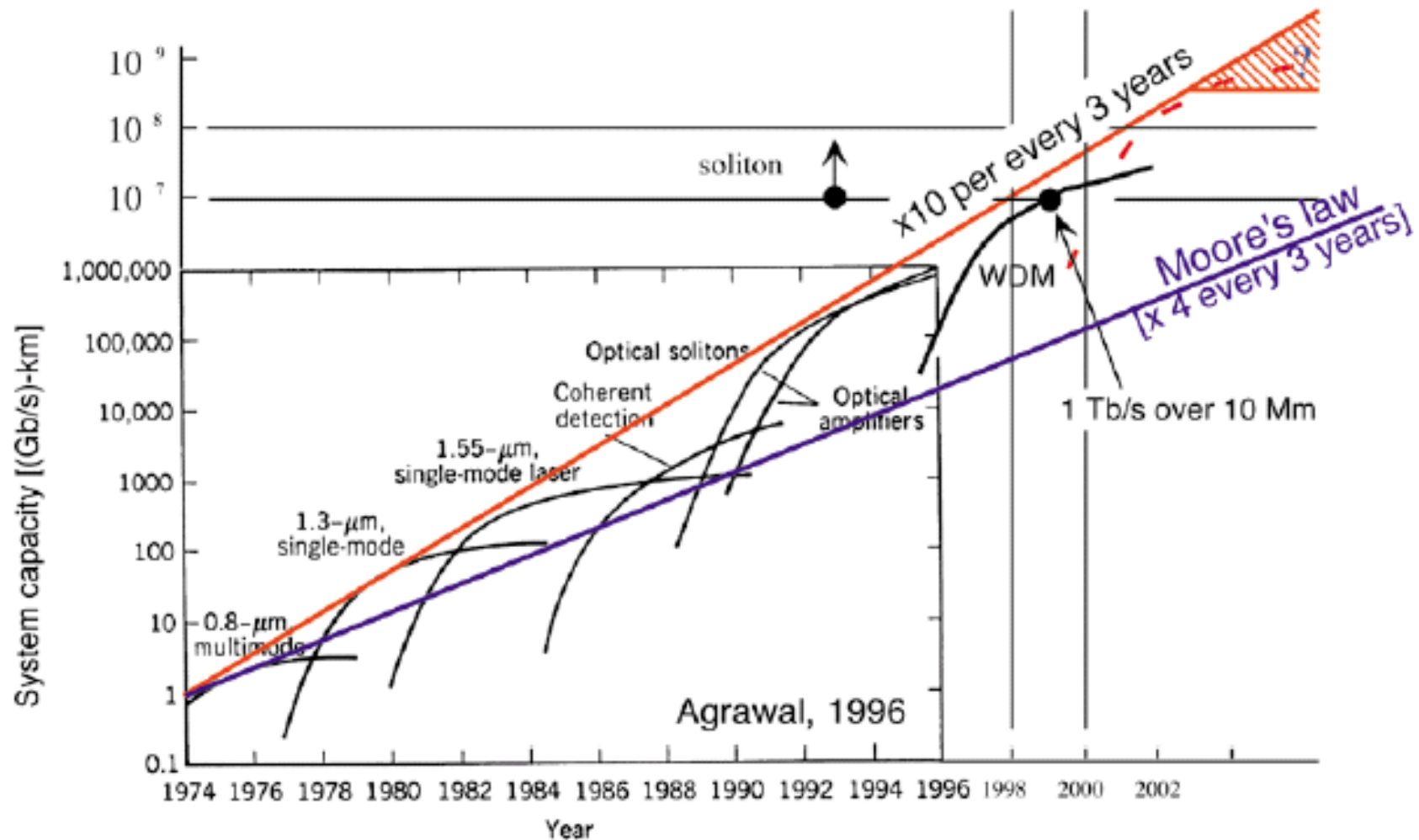
Five Generations

1. 0.8- μm systems (1980); **Graded-index fibers**
2. 1.3- μm systems (1985); **Single-mode fibers**
3. 1.55- μm systems (1990); **Single-mode lasers**
4. WDM systems (1996); **Optical amplifiers**
5. L and S bands (2001); **Raman amplification**



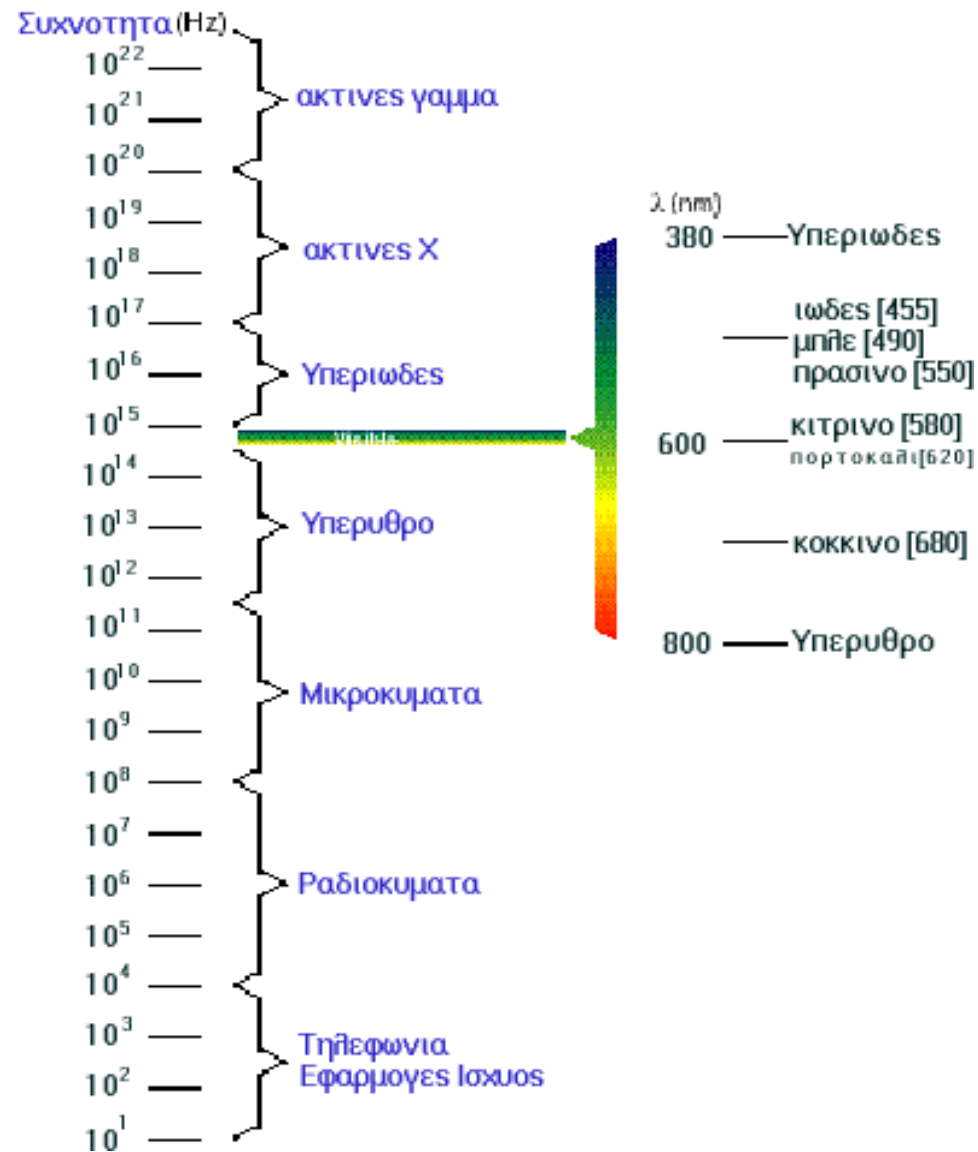


Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ II





ΤΟ Η/Μ ΦΑΣΜΑ





Η φύση του φωτός I

- Το φως είναι κύμα (Maxwell 1864) με ταχύτητα

διάδοσης στο κενό:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$$

- Και σε άλλο μέσο:

$$u = \frac{c}{n} = f \lambda = f \frac{\lambda}{n} \quad \text{με } n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \text{ ο δείκτης διαθλασης του μέσου}$$

- Πόλωση
- Ανάκλαση
- Διάθλαση
- Συμβολή (πείραμα Young 1802)
- Περίθλαση

$$\vec{E} = E_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi)$$

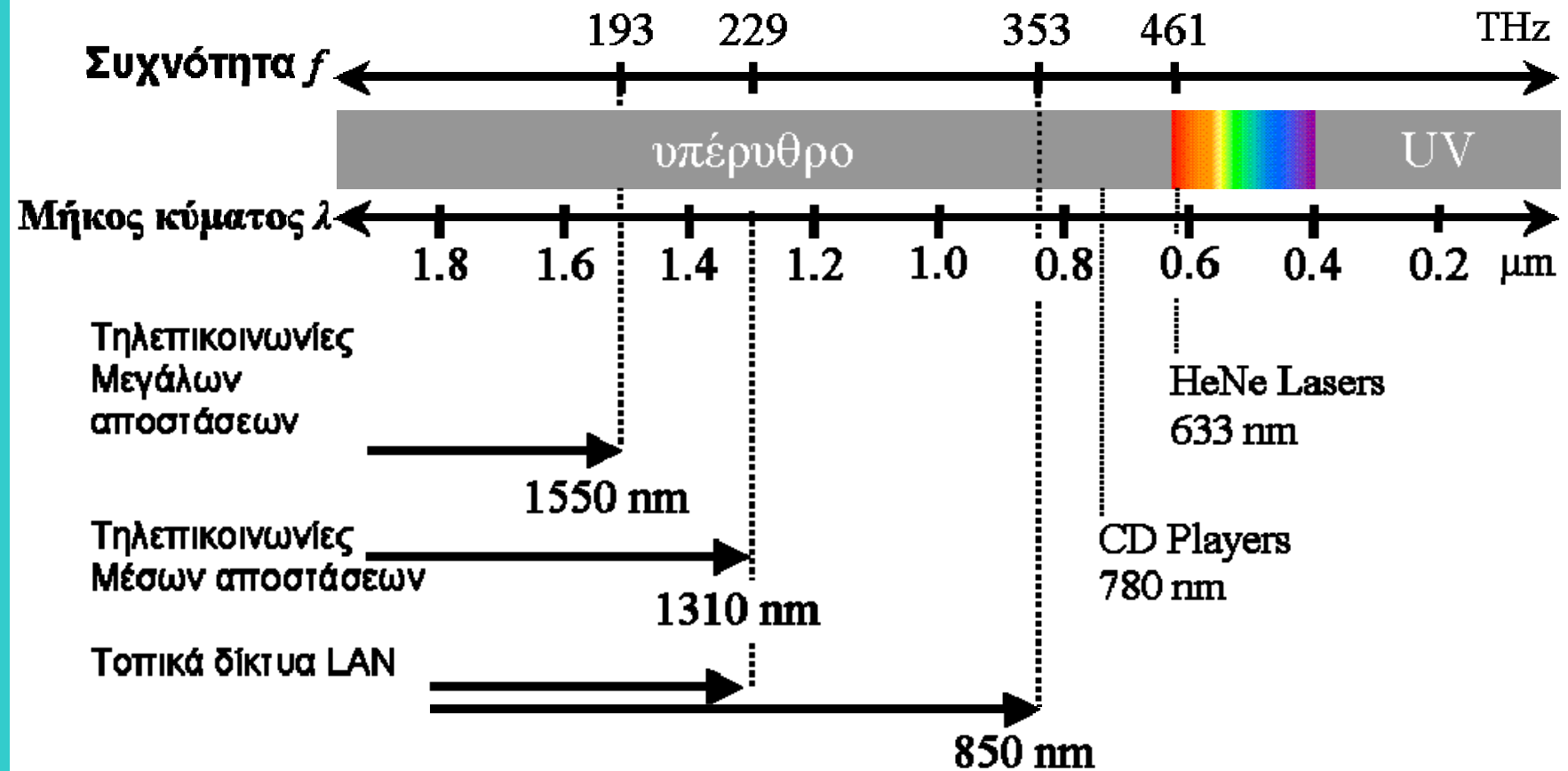


Η φύση του φωτός II

- Το φως είναι σωματίδια – Κβάντα (Einstein-Planck 1905)
- Η φωτεινή ενέργεια εκπέμπεται σε πολλαπλάσια μιας ελάχιστης ποσότητας ενεργείας που λέγεται κβάντο κι εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας: $E = h f$
- Οι δυο θεωρίες είναι συμπληρωματικές
- Αλληλεπίδραση φως με φως, διάδοση: επικρατεί η κυματική φύση
- Αλληλεπίδραση φως με ύλη: επικρατεί η σωματιδιακή φύση



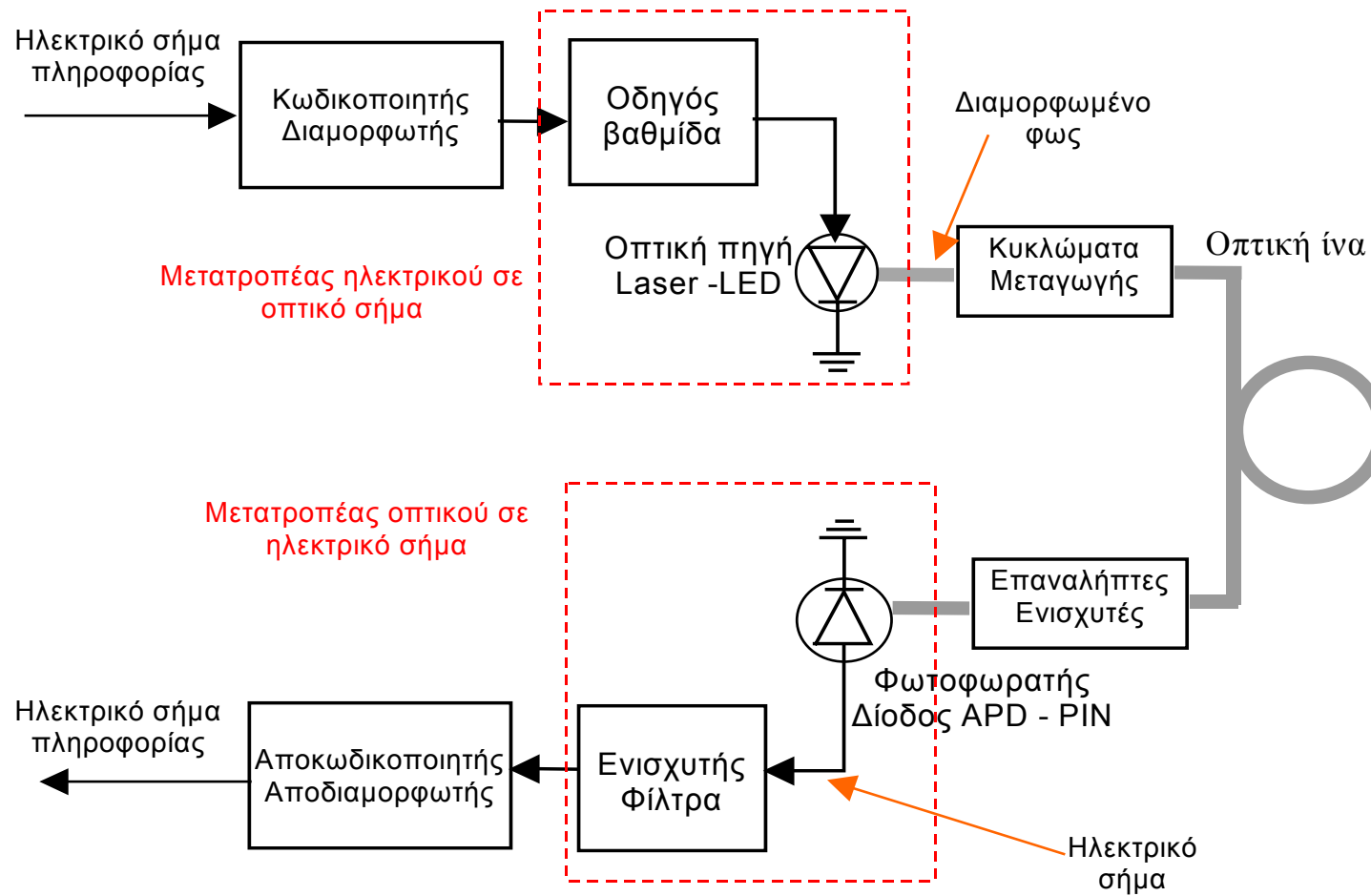
ΤΟ ΟΠΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΣΤΙΣ τηλεπικοινωνίες



Οπτικό φάσμα: 0.1 μm – 20 μm

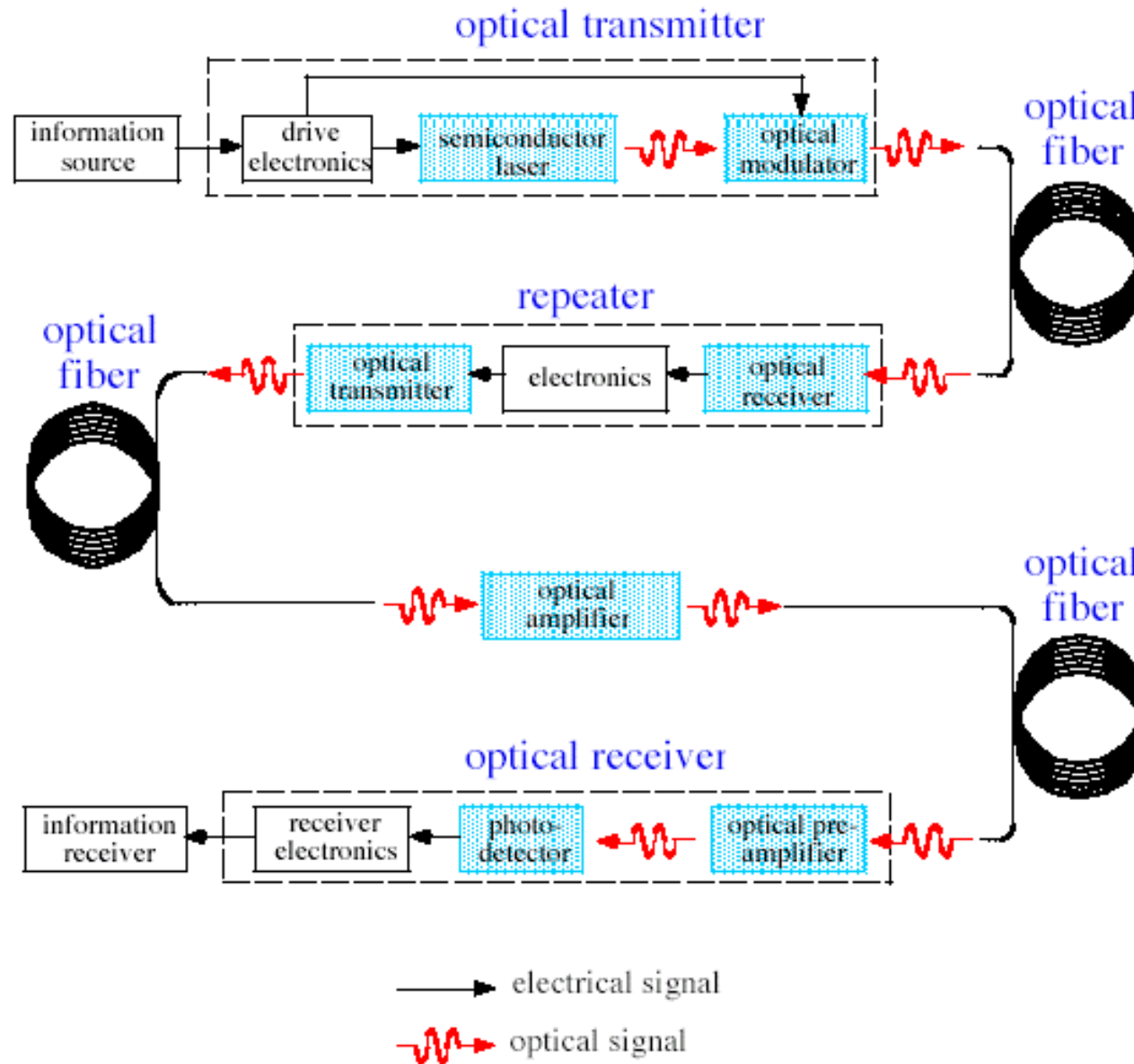


ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ I





ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΟΠΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ II





ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Δομικά στοιχεία -components

- Οπτικές ίνες
- Οπτικές πηγές : Laser 1060 nm-1600nm, 2mW-10mW, (SM/0.1)
- Φωτοφωρατές PIN, APD
- Ενισχυτές (OE - EO, SOA, EDFA) - Αναγεννητές (OE-EO)
- Παθητικά στοιχεία (φίλτρα, συζεύκτες, οπτικοί διαμορφωτές)

ΕΝΕΡΓΑ
ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Σηματοδοσία

- Ψηφιακή διαμόρφωση (OOK-SCM), bit rate: 2.5 Gbps - 40 Gbps
- BER 10^{-9} ή 10^{-12}
- Με πολυπλεξία είναι εφικτοί ρυθμοί της τάξεως των Tbps



Η Οπτική ίνα και τα συμβατικά μέσα μετάδοσης

• Μέσο	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Twisted Pair Cable	φτηνό κατανοητό και οικείο εύκολα επεκτάσιμο	ευαίσθητο σε θόρυβο μικρές αποστάσεις περιορισμένο εύρος ζώνης όχι ασφαλές
Coaxial Cable	μεγάλο εύρος ζώνης μεγάλες αποστάσεις απρόσβλητο σε παρεμβολές	μεγάλες φυσικές διαστάσεις όχι ασφαλές
Fiber Optic Cable	πολύ μεγάλο εύρος ζώνης απρόσβλητο σε παρεμβολές μεγάλες αποστάσεις υψηλή ασφάλεια μικρό μέγεθος	δύσκολες αλλαγές και προσθήκες συγκριτικά ακριβό



ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μεγάλη χωρητικότητα πληροφορίας
- Χαμηλή εξασθένηση <1 dB/Km
- Μικρό κόστος και άφθονη πρώτη ύλη
- Χαμηλό βάρος και μικρό μέγεθος της οπτικής ίνας
- Αναισθησία στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- Αναισθησία σε παρεμβολές μεταξύ ινών σε γειτονικά οπτικά κανάλια
- Δεν χρειάζεται γείωση
- Ευκολία αναβάθμισης
- Ασφάλεια ... στρατιωτικές χρήσεις

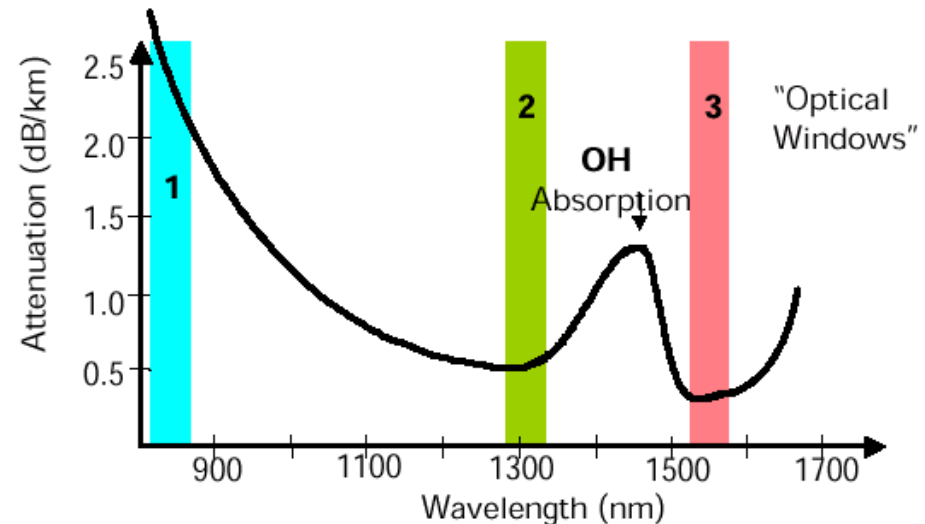
➤ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ακριβός τερματικός εξοπλισμός
- Δύσκολες προσθήκες
 - Ακριβότερο από το χαλκό



Η εξασθένιση στις οπτικές ίνες

✓ Εξασθένιση



Αιτίες Εξασθένισης:

- A. Απορρόφηση (Absorption) που οφείλεται σε ξένες προσμίξεις και κυρίως σε ιόντα OH με ζώνες απορρόφησης στα 2700nm και 1370, 950, 725 που προκαλούσαν τα 1000 dB/Km!!
- B. Σκέδαση (Scattering) προς το περιβλημα και προς τα πίσω (Back Scattering):
 - i. Σκέδαση Rayleigh από ανωμαλίες $< \lambda$. Σκεδάσεις αντιστρόφως ανάλογες της τέταρτης δύναμης του λ
 - ii. Μη γραμμικές σκεδάσεις (Raman, Brillouin) για σημαντική ισχύ σε μονότροπη κυρίως ίνα.



Ολοκληρωμένες οπτικές διατάξεις

- Δεκαετία του 1960: Κυματοδότηση της ΗΛΜ ενέργειας στις οπτικές συχνότητες με τη βοήθεια λεπτών στρωμάτων διηλεκτρικών υλικών
- Υλοποίηση παθητικών κυρίως οπτικών δομικών στοιχείων σε ένα μόνο υπόστρωμα με τεχνικές ανάλογες της μικροηλεκτρονικής, που γρήγορα επεκτάθηκαν σε ημιαγωγικά υλικά για την πραγματοποίηση ενεργών στοιχείων.
- Τα οπτικά αυτά δομικά στοιχεία ενεργά η μη, που χαρακτηρίζονται από την "επιπεδική" (planar) τεχνολογία αποτελούν τα: **οπτικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (OIC - Optical Integrated Circuits).**
- Στόχος της ολοκληρωμένης οπτικής είναι η ανάπτυξη ολοκληρωμένων οπτικών διατάξεων σε ένα μόνο υπόστρωμα για τον έλεγχο και την επεξεργασία σημάτων σε οπτική μορφή
- OIC: ανάλογα με τη λειτουργία τους, απαιτούν συνδυασμούς πηγών για τη δημιουργία οπτικής ισχύος, διαμορφωτών για την εισαγωγή του μηνύματος, μεταγωγέων για τη δρομολόγηση αυτής της ισχύος, οπτικών κυματοδηγών για τη σύνδεση των διαφόρων δομικών στοιχείων του και φωτο-φωρατών για τη λήψη των οπτικών σημάτων



Υλικά της ολοκληρωμένης οπτικοηλεκτρονικής

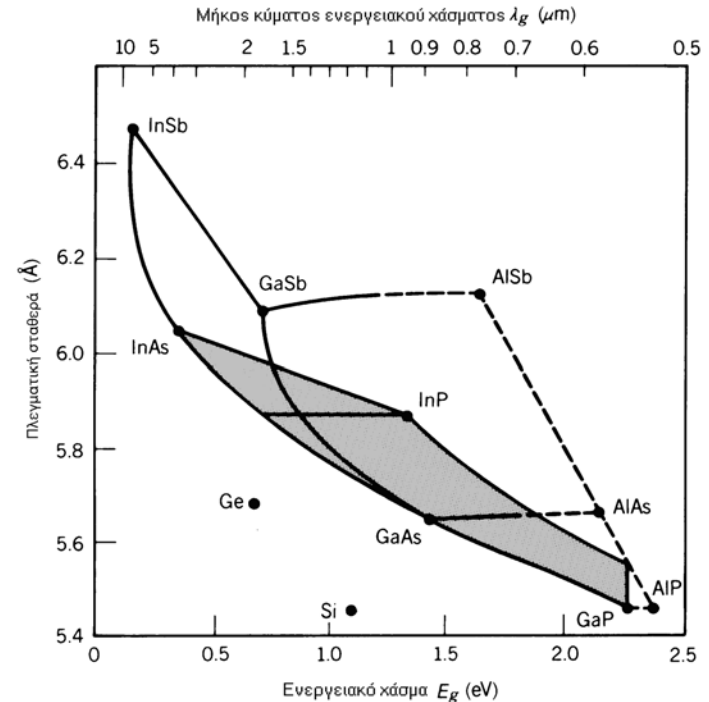
- Η επιλογή του υλικού αλλά και της τεχνικής που θα εφαρμοστεί στην κατασκευή ενός υβριδικού ή μονολιθικού ΟΙC, εξαρτάται από τη λειτουργία, το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος και τις απαιτούμενες επιδόσεις της διάταξης

	Πομπός/ δέκτης	παθητικά στοιχεία	μήκος κύματος (μm)	απώλειες σύνδεσης με οπτική ίνα (dB)	απώλειες κυματοδηγού (dB/cm)	Θερμική ευαισθησία του $\delta\delta \cdot dn/dT$ ($10^{-4} \text{ }^\circ\text{K}$)	Πολωτική ευαισθησία $[n_{TE} - n_{TM}]$ (10^{-4})	Διάμετρος υποστρωματικού δισκίου (wafer) (cm)
InGaAsp/ InP	•	•	1.3/1.5	>2	2	2	0.1-10	5-8
GaAlAs/ GaAs	•	•	1.3/1.5	>2	2	4	2-10	8
Άμορφο SiO ₂ (Γυαλί)		•	1.3/1.5	0.4	<0.1	<0.1	0.1-0.5	>10
LiNbO ₃		•	1.3/1.5	<1	<0.3	<0.1	400	8
πολυμερή		•	< 1.1	<0.5	0.1-0.5	1-3	2-50	>20



Ημιαγωγικά υλικά - Ομάδα III-V

- Οι σύνθετοι ημιαγωγοί III-V προκύπτουν από συνδυασμούς των στοιχείων της ομάδας III (δηλαδή Al, Ga, In) με τα στοιχεία της ομάδας V (δηλαδή P, As, Sb). Τα υλικά αυτά και κυρίως το GaAs, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φωτο-φωρατών και φωτοπηγών (LED, Laser)
- Σύνθετοι τριαδικοί ημιαγωγοί που προκύπτουν από δύο στοιχεία της ομάδας III και ένα της ομάδας V παρουσιάζουν ιδιότητες, που εξαρτώνται από την ποσοστιαία σύσταση των προσμίξεων ($Al_xGa_{1-x}As/GaAs$)
- Σύνθετοι ημιαγωγοί προκύπτουν ακόμη συνδυάζοντας δύο στοιχεία της ομάδας III και δύο της ομάδας V. Οι τετραδικοί αυτοί ημιαγωγοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά τη σύνθεση υλικών με επιθυμητές ιδιότητες σε σχέση με τα τριαδικά, λόγω του επιπλέον βαθμού ελευθερίας. Ο πλέον χρησιμοποιούμενος τετραδικός ημιαγωγός είναι το $In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P_y$



Οι τριαδικοί σύνθετοι ημιαγωγοί σχηματίζονται με κίνηση κατά μήκος της γραμμής που συνδέει τα δύο σημεία που αναπαριστούν τις δυαδικές συνθέσεις. Ένας σύνθετος τετραδικός ημιαγωγός παριστάνεται από ένα σημείο που ανήκει στην επιφάνεια που ορίζεται από τα τέσσερα δυαδικά συστατικά του. Η γραμμοσκιασμένη επιφάνεια παριστάνει τις συνθέσεις του $In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P_y$



Μέθοδοι κατασκευής ΟΙC

- Οι πιο γνωστές χρησιμοποιούμενες τεχνικές αποτελούν επέκταση των τεχνικών της μικροηλεκτρονικής:
- Τεχνικές διάχυσης (Diffusion) και Τεχνικές εμφύτευσης - ανταλλαγής ιόντων (ion implantation - exchange)
 - Χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία διατάξεων του LiNbO_3
- Τεχνικές ανάπτυξης (Growing)
 - Εδώ υλικό προσμείξεων παρόμοιο με το υλικό του υποστρώματος, επιπροστίθεται με τη μορφή κρυσταλλοποιημένου στρώματος στο υπόστρωμα. Χρησιμοποιούνται διαδικασίες όπως ο **RF βομβαρδισμός ιόντων** (sputtering) [Maissel 1973] και η **επιταξία** (epitaxial growth) (Cheo 1973). Η πρώτη τεχνική, χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα βήματα της ολοκληρωμένης οπτικής.



Μέθοδοι Επιταξίας (1)

- Η **επιταξία** (Epitaxial Crystal Growth) είναι μια μορφή εναπόθεσης λεπτών φιλμ
 - ✓ Οι προηγούμενες μέθοδοι δίνουν άμορφα ή πολυκρυσταλλικά φιλμ
 - ✓ η επιταξία δίνει κρυσταλλικά στρώματα που είναι προέκταση του κρυσταλλικού πλέγματος του υποστρώματος. Από την ιδιότητα αυτή προέρχεται και ο όρος "επιταξία", δηλαδή η "σε τάξη" προέκταση τον κρυσταλλικού υποστρώματος.
- **ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΤΑΞΙΑΣ**
 - *Επιταξία Υγρής Φάσης (Liquid Phase Epitaxy, LPE)*
 - *Επιταξία αέριας φάσης (Vapor Phase Epitaxy, VPE)*
 - *Επιταξία Μοριακής Δέσμης (Molecular Beam Epitaxy, MBE)*
 - *Χημική Αέρια Εναπόθεση Μεταλλικών Οργανικών Ενώσεων (Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)*



Επιταξία (2)

- Οι επιταξιακές τεχνικές χρησιμοποιούνται σήμερα, σχεδόν αποκλειστικά, στην κατασκευή μονολιθικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και αποσκοπούν στην κρυσταλλική ανάπτυξη, με προσαρμογή πλέγματος, ενός ημιαγωγικού υλικού επάνω σε ένα άλλο. Επιτρέπουν την ανάπτυξη σύνθετων τριαδικών ή τετραδικών ημιαγωγών που ικανοποιούν τη σχέση:

E_g κυματοδηγού $>$ E_g φωτοπηγής $>$ E_g φωτοφωρατή



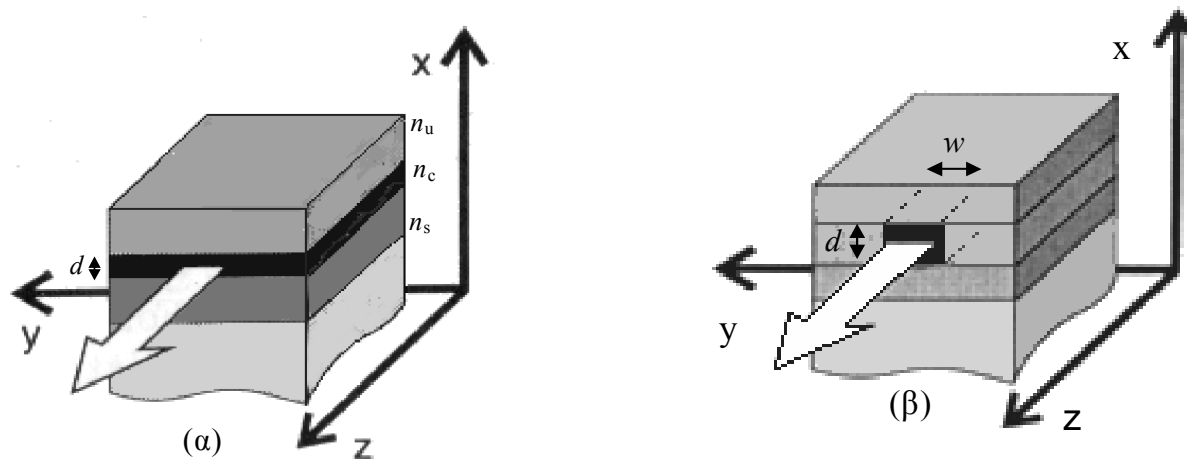
Τεχνικές εγχάραξης (Etching)

- Με τις τεχνικές αυτές καθορίζεται η γεωμετρία των δομών των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων
 - Είναι απαραίτητες στο σχηματισμό των οπτικών τρισδιάστατων κυματοδηγών και βασίζονται σε τυπικές φωτολιθογραφικές μεθόδους με τις οποίες η επιθυμητή δομή αποτυπώνεται (patterning) πάνω σε ένα στρώμα ευπαθούς υλικού
 - Ο κυματοδηγός σχηματίζεται με προσβολή του στρώματος κάλυψης (mask) με χημικά αντιδραστήρια (**wet etching**), ή με την επίδραση δέσμης ιόντων **RIE** (Reactive Ion Etching) και **RIBE** (Reactive Ion Beam Etching)



Τυπικοί διηλεκτρικοί κυματοδηγοί

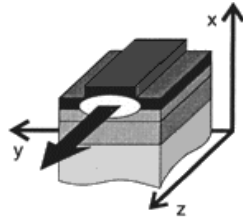
- Οι οπτικοί κυματοδηγοί της ολοκληρωμένης οπτικής, συγκεντρώνουν και οδηγούν τη φωτεινή ισχύ συνδέοντας τα δομικά στοιχεία ενός ολοκληρωμένου οπτικού κυκλώματος. Έτσι δίκαια θεωρούνται ως νευραλγικής σημασίας τμήμα ενός ΟΙΣ



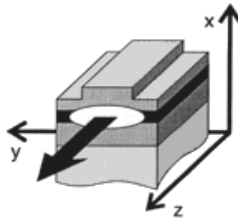
α) Επίπεδος άπειρος κυματοδηγός (slab waveguide) και **β)** τρισδιάστατος κυματοδηγός τύπου καναλιού



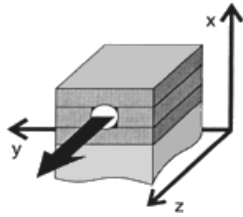
Τύποι channel waveguides



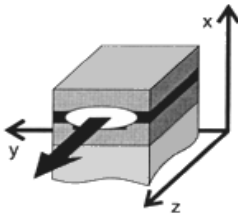
Ραβδωτός κυματοδηγός (rib)



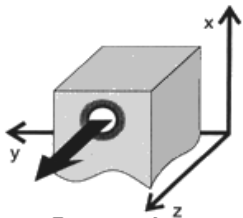
Κυματοδηγός οπτικής ταινιογραμμής (optical strip-line)



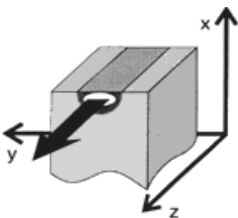
Θαμμένος κυματοδηγός καναλιού (buried channel)



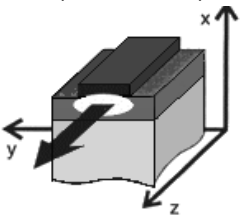
Θαμμένος ραβδωτός κυματοδηγός (buried strip)



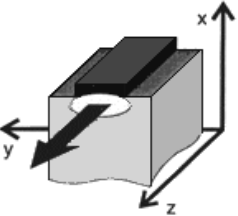
Θαμμένος κυματοδηγός διάχυσης (buried diffused)



Κυματοδηγός διάχυσης (diffused)



Ραχιαίος κυματοδηγός (ridge)

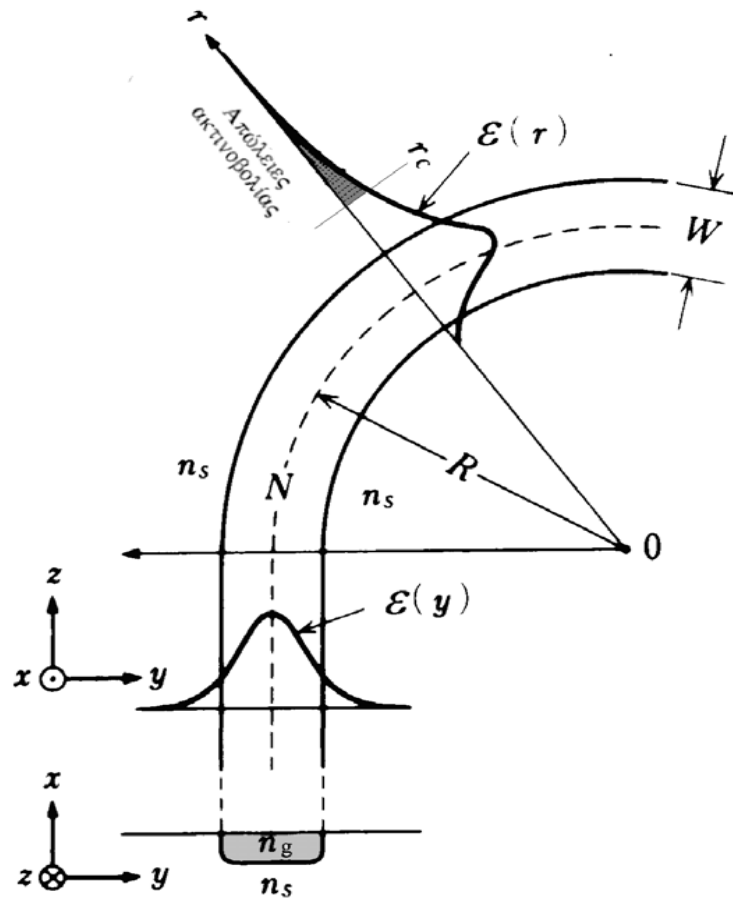


Κυματοδηγός ταινίας (strip)

Βασικοί τύποι οπτικών κυματοδηγών (3D) της ολοκληρωμένης οπτικής. Με λευκό χρώμα παριστάνεται η εγκάρσια διατομή της φωτεινής δέσμης



Καμπύλοι κυματοδηγοί




- Οι καμπύλοι κυματοδηγοί χρησιμοποιούνται για την αλλαγή της διεύθυνσης διάδοσης της οπτικής ισχύος και την διασύνδεση των διαφόρων δομικών στοιχείων ενός ΟΙC. Οι παράμετροι που τους χαρακτηρίζουν είναι κυρίως η ακτίνα καμπυλότητάς τους R και οι απώλειες οπτικής ισχύος, που συνεπάγεται η παρεμβολή τους. Όσο μειώνεται η ακτίνα καμπυλότητας, η κατεύθυνση μιας οπτικής διαδρομής αλλάζει σε μικρότερη απόσταση διάδοσης. Αντίθετα όμως οι απώλειες οπτικής ισχύος λόγω καμπυλότητας του κυματοδηγού αυξάνονται με τη μείωση της ακτίνας R

$$\alpha_R = c_1 \exp(-c_2 R)$$



Γιατί Οπτικά συστήματα;

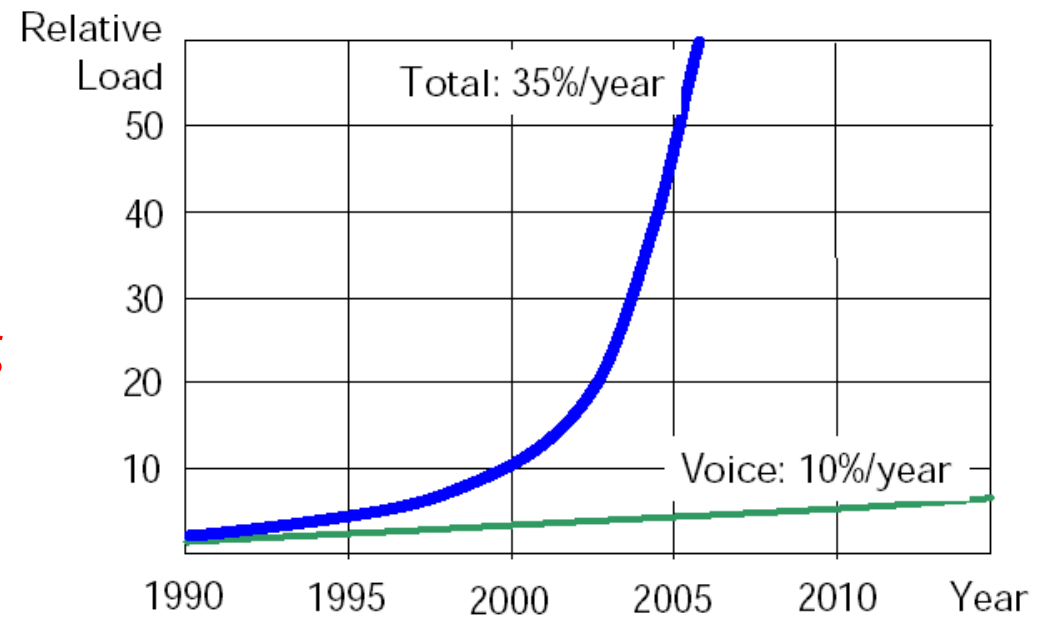
- Η οπτική εξασθένιση στα 1,3 μm και 1,55 μm είναι πολύ μικρότερη από την ηλεκτρική εξασθένιση σε οποιοδήποτε καλώδιο στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες μετάδοσης
- Επίτευξη μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ των οπτικών αναγεννητών απ' ό,τι μεταξύ των ηλεκτρικών αναγεννητών
- Μεγάλο Εύρος ζώνης
- Οι οπτικές συχνότητες είναι πολύ υψηλότερες από τις συμβατικές μικροκυματικές 
 - Υψηλότερες συχνότητες διαμόρφωσης και υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης
- Στις οπτικές συνδέσεις, το εύρος ζώνης εξαρτάται πολύ λιγότερο από το μήκος τους αντίθετα με τις συμβατικές εν/ασυρματες ζεύξεις
- Η οπτική εξασθένιση είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα διαμόρφωσης
- Ένα οπτικό σύστημα επικοινωνιών μπορεί να αναβαθμιστεί σε υψηλότερο bandwidth αντικαθιστώντας τις τερματικές διατάξεις αποστολής και λήψης και όχι το μέσο μετάδοσης



ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

- IP κίνηση
- Εφαρμογές Multimedia
- Νέες Υπηρεσίες-ευρυζωνικές

(video on demand,
video conference.....)





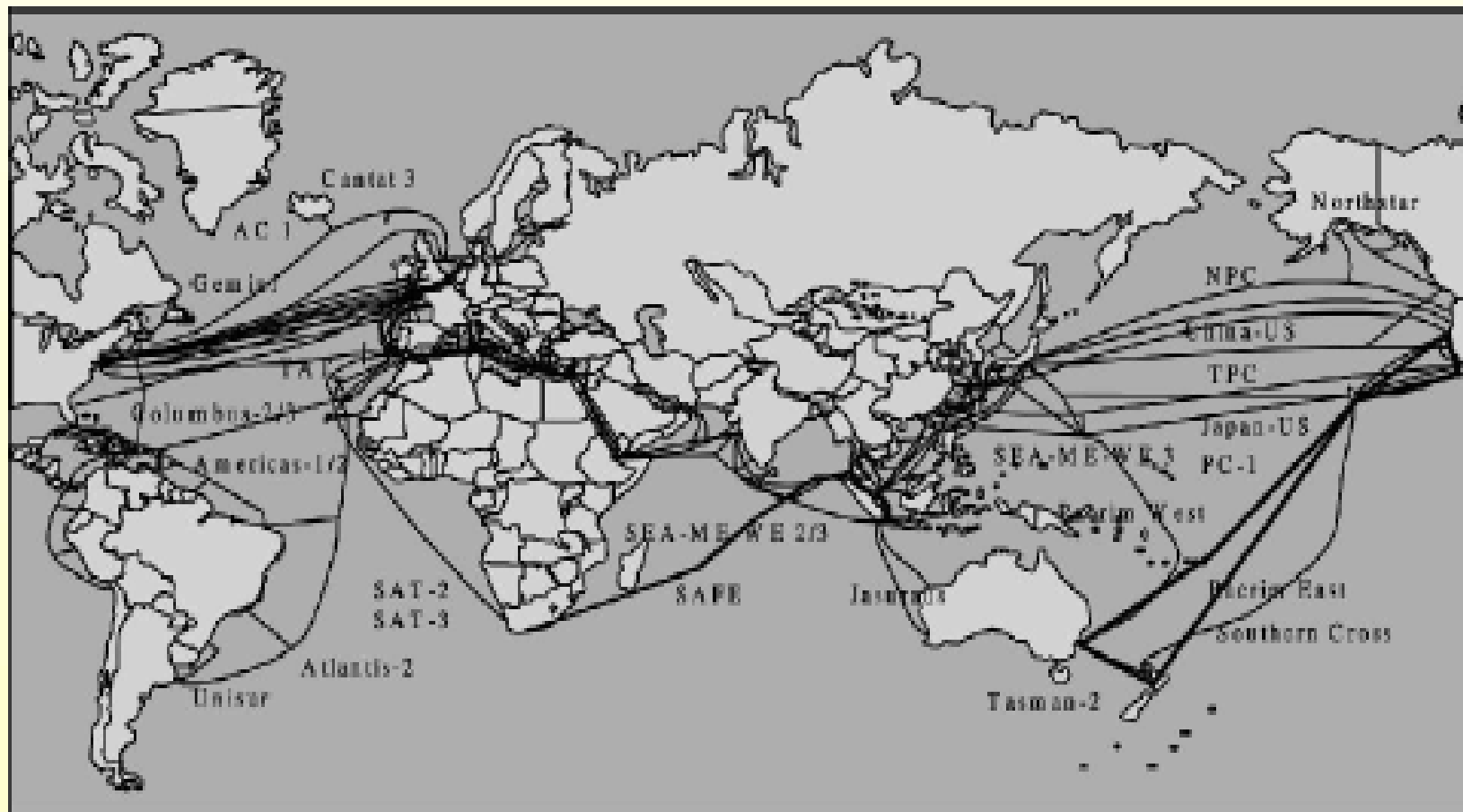
ΠΡΟΤΥΠΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

- No standards until 1988.
- US standard: *synchronous optical network* (**SONET**).
- ITU standard: *synchronous digital hierarchy* (**SDH**).

SONET	SDH	B (Mb/s)	Channels
OC-1		51.84	672
OC-3	STM-1	155.52	2,016
OC-12	STM-4	622.08	8,064
OC-48	STM-16	2,488.32	32,256
OC-192	STM-64	9,953.28	129,024
OC-768	STM-256	39,813.12	516,096

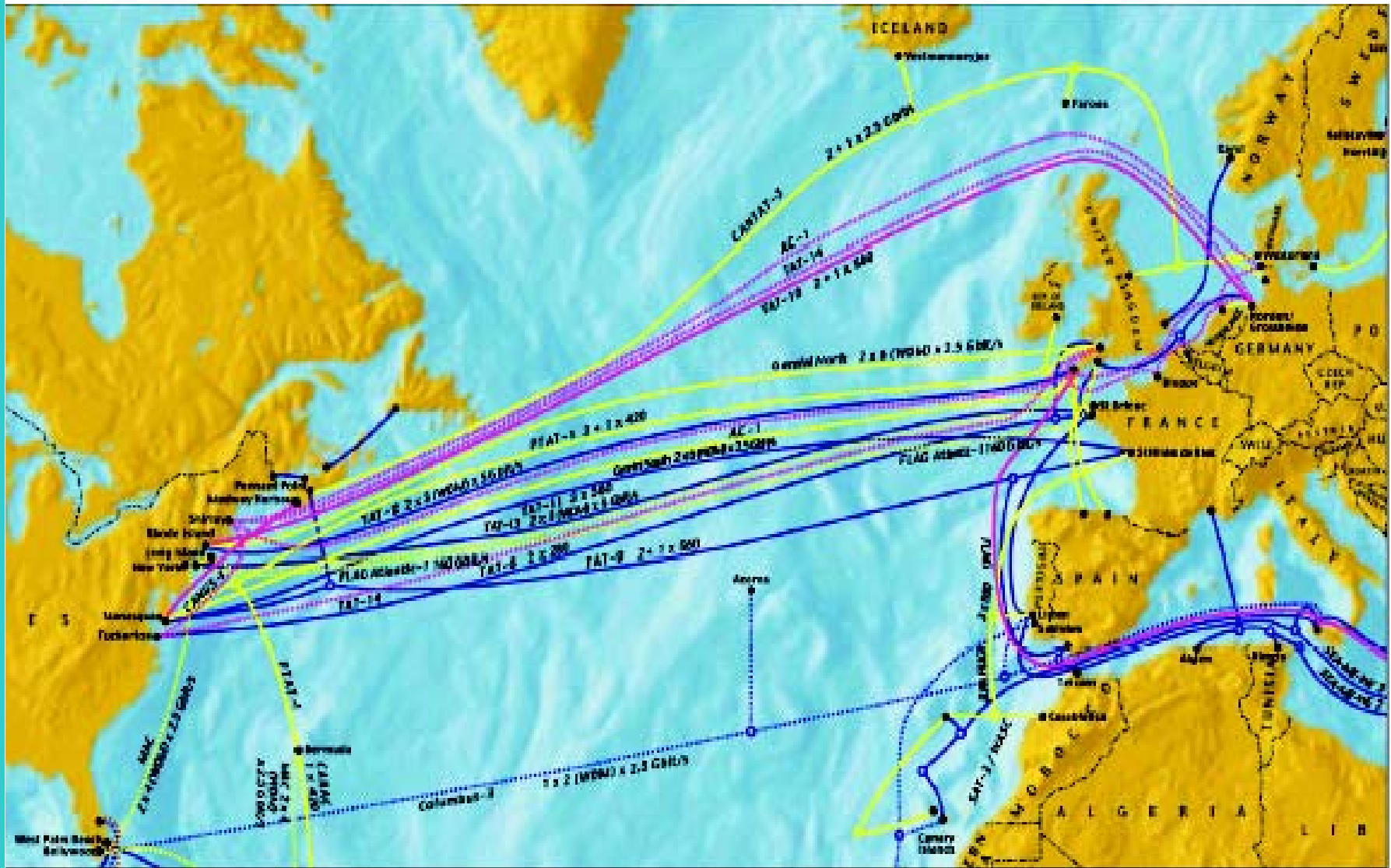


ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ I





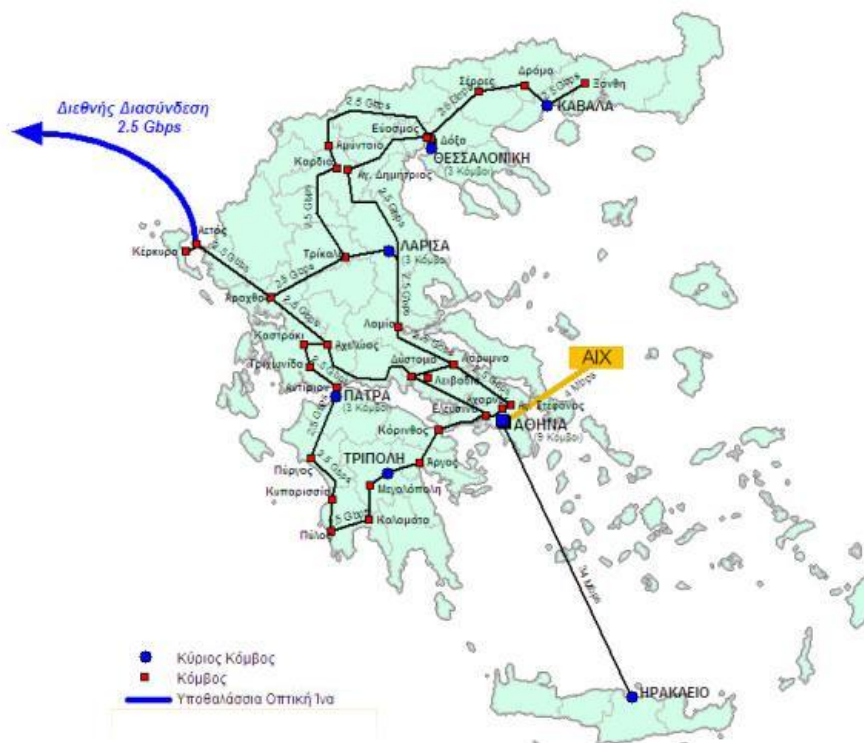
ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ II





ΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

TELLAS



GRNET

