



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΜΑΘΗΜΑ: ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΟΥΣ ΟΠΤΙΚΟΥΣ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

ΥΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΥΒΡΙΔΗΣ



ΑΘΗΝΑ,
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2004

ΟΠΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

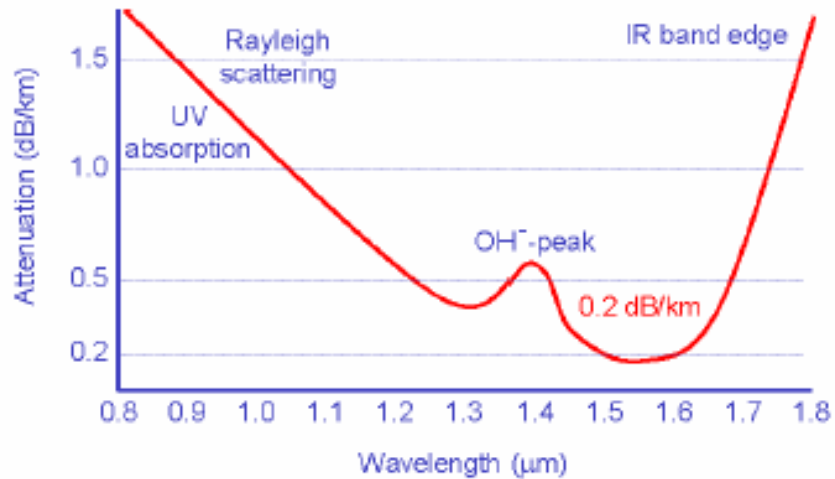
Τηλεπικοινωνιακά παράθυρα:

- 1300nm (εύρος 100nm) / απώλειες $\leq 0.5\text{dB/km}$
- 1550nm (εύρος 100nm) / απώλειες $\leq 0.2\text{dB/km}$

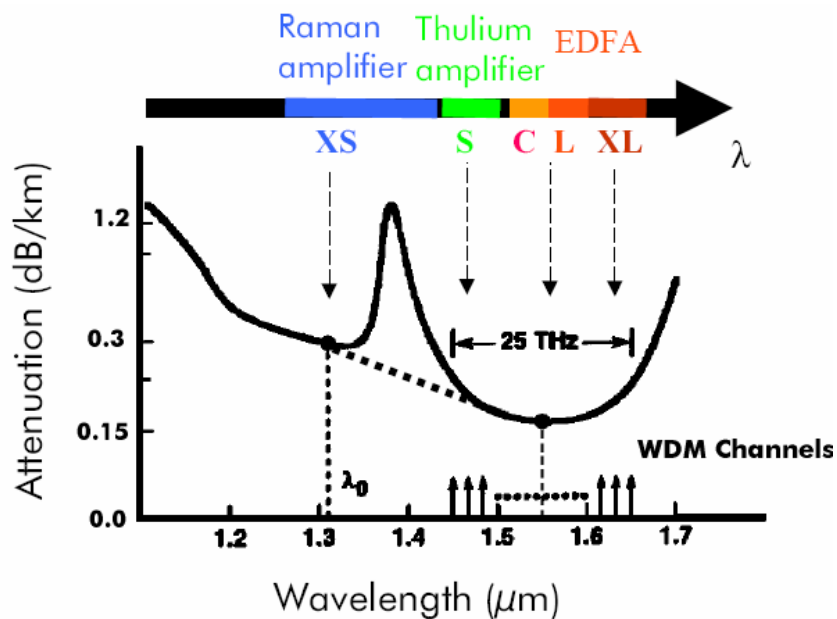
Οπτική ισχύς σήματος $P(0)$ μετά από διάδοση:

$$P(L) = 10^{-\alpha L/10} P(0)$$

α: συντελεστής απωλειών, L: μήκος διάδοσης



Σχήμα 1. Γράφημα απωλειών σε τυπική μονότροπη οπτική ίνα



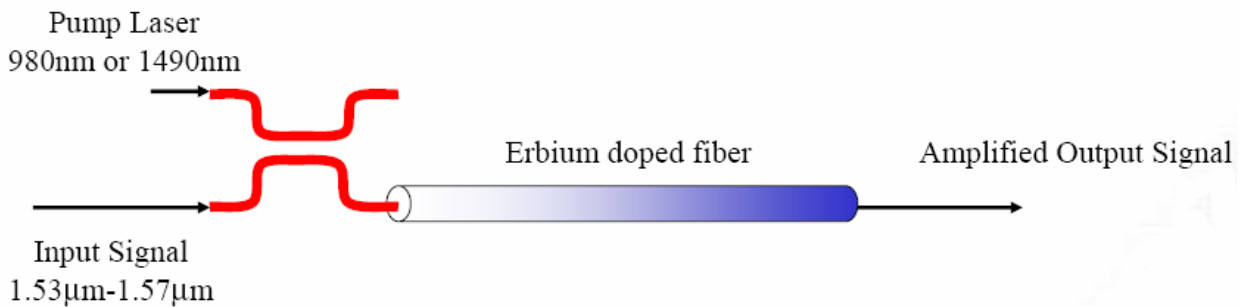
Σχήμα 2. Χρήση διαφόρων τύπων ενισχυτών σε διαφορετικά συχνотικά παράθυρα

- **Ενισχυτές οπτικών ινών με αλκαλικές γαίες**

- Οπτική ίνα της οποίας ο πυρήνας είναι ντοπαρισμένος της με στοιχεία Er, Yt, Nd, Pr.
- Χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας :
 - Ποσοστό doping (ppm)
 - Ισχύς του laser άντλησης (mW ή dBm)
- Χαρακτηριστικά απόδοσης :
 - Μήκη κύματος εκπομπής (S,C,L,XL)
 - Εύρος ενίσχυσης (nm ή THz)
 - Ισχύς ενίσχυσης (dB)
 - Ισχύς εξόδου (mW ή dBm)

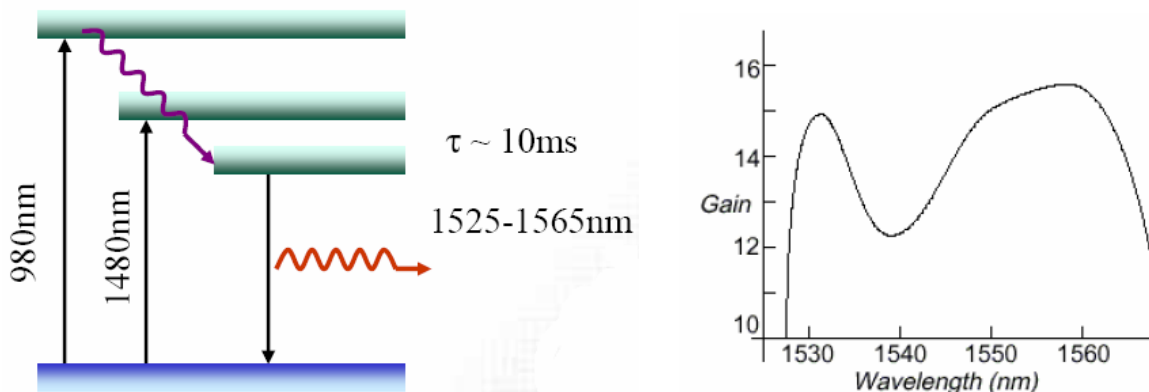
- **Ενισχυτές Ερβίου (Erbium-doped fiber amplifiers - EDFAs)**

- Ισχυρή ζώνη εκπομπής στα 1525 – 1600nm (C,L band)
- Ισχυρή ζώνη απορρόφησης στα 980nm (επίσης στα 1480nm, 535nm)
- Αντικαθιστούν τους ηλεκτρο-οπτικούς αναγεννητές κατά μήκος μιας ζεύξης
- Πλήρως οπτική διάταξη ενίσχυσης οπτικών σημάτων



Σχήμα 3. Διάταξη ενισχυτή ερβίου

- Ενεργειακό διάγραμμα Er^{+3}
- Ενισχυόμενη αυθόρμητη εκπομπή (Amplified Spontaneous Emission - ASE)
- Απορρόφηση διεγερμένων καταστάσεων (Excited State Absorption - ESA)
- Εκφυλισμένες ζώνες → Μεγάλο φασματικό εύρος μεταπτώσεων



Σχήμα 4. Ενεργειακό διάγραμμα ερβίου και φάσμα αυθόρμητης εκπομπής

- Μοντέλο ενίσχυσης:
- Ισχύς του θορύβου ASE:
- Ενίσχυση (dB):
- Οπτικός λόγος σήμα/θόρυβο:
- Σήμα θορύβου ενισχυτή:

$$P_{in} / P_{sat} = (G-1) \ln(G_0/G)$$

$$P_{ASE} = 2n_{sp}(G-1)h\nu$$

$$G = 10 \log(P_{out} / P_{in})$$

$$OSNR = P_{signal} / P_{noise}$$

$$NF = OSNR_{in} / OSNR_{out}$$



Σχήμα 5. Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας του EDFA.

Πλεονεκτήματα

- Υψηλή ενίσχυση (20-40dB)
- Υψηλή ισχύς εξόδου (έως 37dBm)
- Μεγάλο φασματικό εύρος (WDM συστήματα)
- Ταυτόχρονη ενίσχυση πολλών καναλιών
- Όχι οπτοηλεκτρονική μετατροπή σήματος
- Χαμηλό κόστος (π.χ. ~ 25000€ για EDFA 37dBm)

Μειονεκτήματα

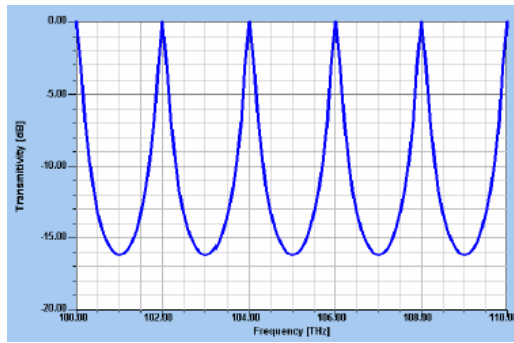
- Μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR)
- Ισχυρό Noise Figure (τυπικά 6-7dB)

ΟΠΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

- Επιλογή καναλιού (στενής φασματικής περιοχής) στο δέκτη
- Ρυθμιζόμενα ή όχι σε μήκος κύματος
- Φασματικό εύρος ώστε να καλύπτει το επιθυμητό κανάλι αλλά και να απομονώνει τα διπλανά κανάλια

- Φίλτρα Fabry-Perot (F-P)

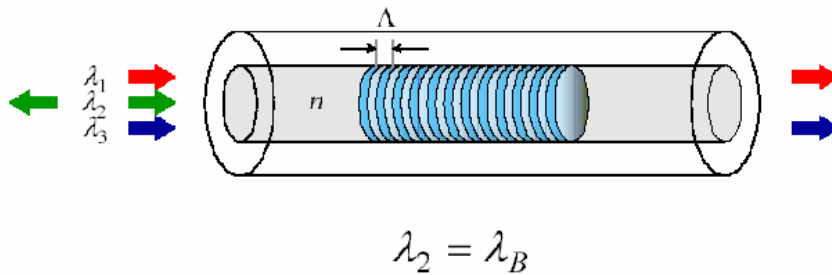
- Συμβολόμετρο Fabry-Perot με 2 κάτοπτρα υψηλής ανακλαστικότητας
- Κεντρική συχνότητα: $\nu_L = c / 2ngL$
- Free spectral range (FSR): $\Delta\nu_L = c / 2ngL$
- Finesse: $F = \pi R^{1/2} / (1-R)$



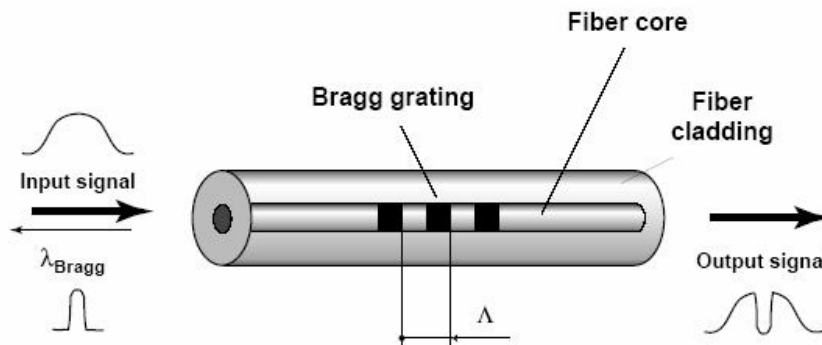
Σχήμα 6. Χαρακτηριστική απόκρισης φίλτρου Fabry-Perot.

- Φράγματα περίθλασης Bragg (Fiber Bragg Gratings - FBG)

- Κατασκευή μονιμης περιοδικής δομής κατά μήκος του άξονα διάδοσης της ίνας
- Συνθήκη ανάκλασης Bragg: $\lambda_B = 2n\Lambda$



Σχήμα 6. Εσωτερική δομή φίλτρου Fiber Bragg Grating (FBG). Απόρριψη του καναλιού λ_2 και διέλευση των καναλιών λ_1 και λ_3 .



Σχήμα 7. Εσωτερική δομή φίλτρου Fiber Bragg Grating (FBG). Απόρριψη του εύρους λ_{Bragg} και διέλευση του υπόλοιπου φάσματος.

- Φράγματα περίθλασης Bragg (Fiber Bragg Gratings - FBG)

- Σχετικά εύκολη κατασκευή
- Μικρό μέγεθος (~cm)
- Συμβατά με την οπτική τεχνολογία
- Απομόνωση έως και >30dB
- Απώλειες έως και <0.2dB
- Αντοχή σε θερμοκρασία >100°C
- Κατασκευή σε οποιοδήποτε επιθυμητό μήκος κύματος
- Ρυθμιζόμενα με θερμοκρασιακό έλεγχο ή πιεζοηλεκτρικές διατάξεις

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Μετρήστε, χωρίς να βάλετε σήμα εισόδου, την οπτική έξοδο P_{ASE} του ενισχυτή ερβίου (EDFA) στον μετρητή ισχύος (powermeter) αλλάζοντας το ρεύμα άντλησης I_{PUMP} του ενισχυτή από τα **0mA** έως και τα **1000mA**, με βήμα **50mA**. Κατασκευάστε το γράφημα ($P_{ASE} - I_{PUMP}$). Γιατί αυξάνοντας το ρεύμα, αυξάνεται η οπτική ισχύς εξόδου του ενισχυτή; Ποια φυσικά φαινόμενα συμβαίνουν;
2. Ρυθμίστε ένα ρυθμιζόμενο laser εξωτερικής κοιλότητας (External Cavity Laser) ώστε να σας δίνει στη έξοδό του μια γραμμή laser με μήκος κύματος **1550nm** και οπτική ισχύ **$P_s=1mW$** (ή αλλιώς 0 dBm). Η μέτρηση να γίνει με τον οπτικό φασματικό αναλυτή (Optical Spectrum Analyzer - OSA). Μετρήστε από το φάσμα το λόγο σήμα προς θόρυβο (Signal-to-Noise ratio - SNR). Καταγράψτε τις τιμές.
3. Κατόπιν, διαδώστε το σήμα αυτό σε μονότροπη οπτική ίνα μήκους **50km**. Μετρήστε ξανά στον OSA, την οπτική ισχύ του σήματος ($P_s(50km)$) και το SNR του (SNR(50km)). Πόσες φορές έχει εξασθενήσει συνολικά το σήμα; Ανάγετε την εξασθένιση σε λογαριθμική κλίμακα (δηλαδή σε μονάδες dB). Υπολογίστε επίσης τον συντελεστή εξασθένησης (σε dB/km). Είναι η τιμή που υπολογίσατε κοντά στην αναμενόμενη, κι αν όχι που μπορεί να οφείλεται αυτό; Το SNR(50km) έχει αλλάξει σε σχέση με το αρχικό; Γιατί;
4. Προφανώς για να επανέλθει το σήμα στην αρχική του ισχύ, μετά τη διάδοση, πρέπει να ενισχυθεί. Εισάγετε το σήμα αυτό στην είσοδο του EDFA. Μετρήστε την οπτική έξοδο $P_s^{AMP}(50km)$ του ενισχυτή ερβίου στον OSA, αλλάζοντας το ρεύμα άντλησης I_{PUMP} του ενισχυτή από τα **0mA** έως και τα **1000mA**, με βήμα **50mA**. Κατασκευάστε το γράφημα ($P_s^{AMP}(50km) - I_{PUMP}$). Για ποια τιμή του ρεύματος άντλησης πετυχαίνουμε να επαναφέρουμε την οπτική ισχύ του σήματος στην αρχική της τιμή P_s ; Ρυθμίστε το ρεύμα σε αυτή τη τιμή και υπολογίστε τη νέα τιμή του SNR. Γιατί παρατηρείται μείωση σε σχέση με τις τιμές που υπολογίστηκαν στα προηγούμενα βήματα; Κατασκευάστε το γράφημα ενίσχυσης ($G - I_{PUMP}$), όπου **$G=P_{out}/P_{in}$** . Αναγνωρίστε τις διάφορες περιοχές λειτουργίας του ενισχυτή (έναρξη λειτουργίας, γραμμική περιοχή, περιοχή κόρου). Σε ποιες τιμές ρεύματος άντλησης συμβαίνουν;
5. Τοποθετείστε ένα ρυθμιζόμενο οπτικό φίλτρο Fabry-Perot στην έξοδο του EDFA, και ρυθμίστε το ώστε η μέγιστη διαπερατότητά του να είναι στο μήκος κύματος του οπτικού σήματος. Πόση είναι τώρα η οπτική ισχύς του σήματος; Αν είναι μικρότερη, αυξήστε το ρεύμα του ενισχυτή ώστε να ξαναφέρετε την οπτική ισχύ εξόδου του σήματος στην τιμή P_s . Ποιο είναι το ρεύμα αυτό; Μετρήστε ξανά το SNR. Πόσο έχει βελτιωθεί σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση που δε χρησιμοποιήσαμε φίλτρο και γιατί;
6. Ρυθμίστε δύο ρυθμιζόμενα laser εξωτερικής κοιλότητας (ECLs) ώστε να σας δίνουν στη έξοδό τους : το πρώτο γραμμή laser με μήκος κύματος **1556.4nm** και οπτική ισχύ **$P_{s1}=1mW$** , και το δεύτερο γραμμή laser με μήκος κύματος **1557.2nm** και οπτική ισχύ **$P_{s2}=1mW$** . Με έναν 50/50 συζεύκτη (coupler) εισάγετε τα σε κοινή οπτική ίνα. Χρησιμοποιήστε ένα φίλτρο Fabry-Perot ώστε να απομονώσετε το πρώτο. Πόσος είναι ο λόγος απομόνωσης **$A=P_{s1}/P_{s2}$** (υπολογίστε τον και σε dB); Αφαιρέσατε το Fabry-Perot φίλτρο και αντί αυτού

εισάγετε ένα φράγμα περίθλασης οπτικής ίνας (Fiber Bragg Grating - FBG) με μήκος κύματος αποκοπής **1556.2nm** και φασματικό εύρος περίπου **1nm**. Ξαναμετρήστε το λόγο απομόνωσης A (υπολογίστε τον και σε dB), και συγκρίνετε τον με αυτόν που υπολογίσατε προηγουμένως. Είναι διαφορετικοί, και αν ναι, που μπορεί να οφείλεται η διαφορά;