

Laser Οπτικών Ινών

Laser Οπτικών Ινών Δακτυλίου- Ενισχυτής Laser Οπτικών Ινών με Πρόσμειξη Ερβίου-EDFA

1. Σκοπός

Σκοπός του παρόντος εργαστηρίου είναι η γνωριμία μας με το laser οπτικών ινών (fiber laser) και η κατανόηση της λειτουργίας του. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο laser οπτικών ινών δακτυλίου και στον οπτικό ενισχυτή με πρόσμειξη ερβίου. Πέραν από αυτά τα δύο, με τη συγκεκριμένη πειραματική διάταξη, μέσα από διαφορετικές συνδέσεις, γίνεται κατανοητή η λειτουργία του laser οπτικών ινών και επιτυγχάνεται ο χαρακτηρισμός του, συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων. Ακόμη, μπορεί να μελετηθεί μερικώς το διοδικό laser της διάταξης, το οποίο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του laser οπτικών ινών.

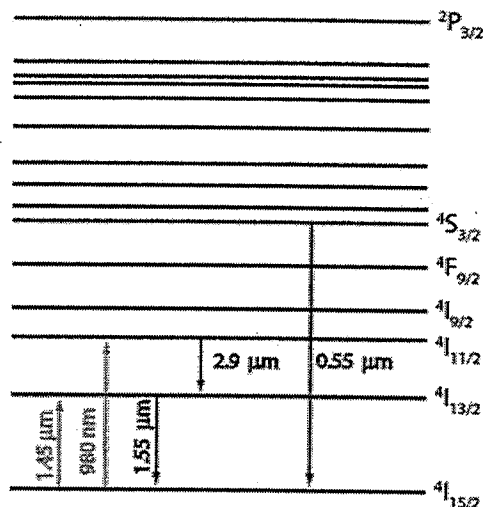
2. Γενικά στοιχεία

Τα laser οπτικών ινών δημιουργήθηκαν χάρη στη γοργή ανάπτυξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών. Ένα laser οπτικών ινών είναι ουσιαστικά ένα laser, το οποίο χρησιμοποιεί για ενεργό υλικό οπτικές ίνες ενισχυμένες με σπάνιες γαίες, όπως: έρβιο, υττέρβιο, νεοδύμιο, θούλιο κλπ.

Το laser οπτικών ινών έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως:

- Διαδίδεται (μετά τη δημιουργία του) σε μια ευέλικτη οπτική ίνα, η χρήση της οποίας μπορεί να διευκολύνει πολλές διαδικασίες.
- Προσφέρει υψηλή ένταση εξόδου λόγω των μειωμένων απωλειών από τη χρήση οπτικών ινών.
- Προσφέρει υψηλή ποιότητα λόγω της φύσης των οπτικών ινών.
- Θεωρείται αρκετά αξιόπιστο και έχει σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής.
- Είναι κατευθυνόμενης δέσμης, αφού ο φορέας του είναι η οπτική ίνα κι όχι ο αέρας.

Στη συγκεκριμένη άσκηση, το laser που χρησιμοποιείται αποτελεί laser οπτικών ινών με πρόσμειξη ερβίου. Το μήκος κύματος του laser είναι 1.550 nm. Για να επιτευχθεί η αντιστροφή πληθυσμών χρησιμοποιείται οπτική άντληση από ένα laser ημιαγωγού, του οποίου η ακτινοβολία έχει μήκος κύματος 980 nm (Σχήμα 1). Στην εργασία το πρώτο laser θα το καλούμε laser σήματος, ενώ το δεύτερο laser άντλησης.



Σχήμα 1 Απεικόνιση ενεργειακών σταθμών όπου διακρίνεται η διαφορά ενέργειας ΔE μεταξύ δύο σταθμών που αντιστοιχεί στο laser σήματος (1.550 nm) και της ενέργειας που αντιστοιχεί στο laser άντλησης (980 nm).

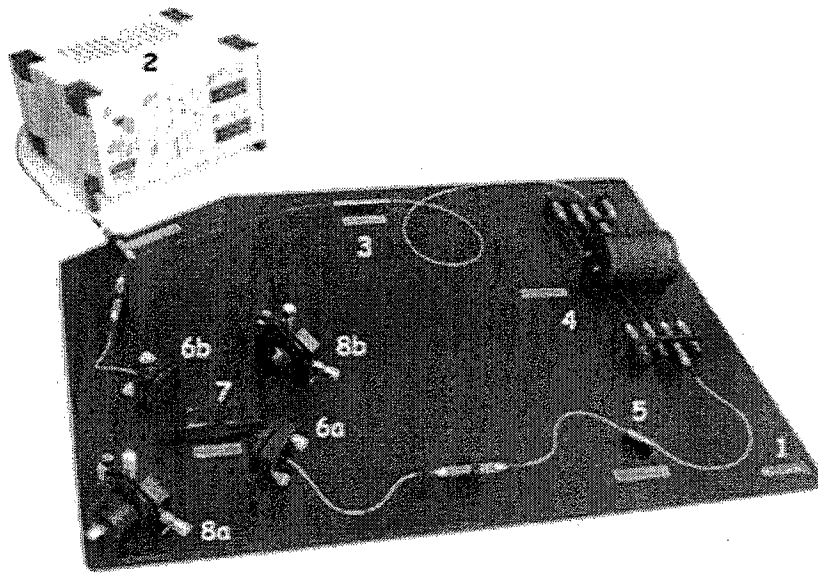
3. Προφυλάξεις

Τα laser που χρησιμοποιούνται στην άσκηση έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές ως εξής: ως τάξης 3B το laser 980 nm και ως τάξης 3R το laser 1.550 nm. Και οι δύο παραπάνω ακτινοβολίες είναι μη ορατές από τον άνθρωπο.

Κατά τη διεξαγωγή της άσκησης πρέπει να βρίσκεστε όρθιοι, ώστε το επίπεδο των ματιών σας να μη συμπίπτει με το επίπεδο της φωτεινής δέσμης. Επίσης, κάθε παρατήρηση της άσκησης θα πρέπει να γίνεται από υψηλότερο επίπεδο και με τα κατάλληλα προστατευτικά γυαλιά laser.

4. Πειραματική διάταξη

Η διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί είναι ένα laser οπτικών ινών με πρόσμειξη ερβίου μήκους κύματος 1.550 nm, το οποίο χρησιμοποιεί για την οπτική άντληση ένα laser ημιαγωγών μήκους κύματος 980 nm. Η πλήρης διάταξη φαίνεται σχηματικά παρακάτω, στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2 Φωτογραφία της πειραματικής διάταξης. Στο πάνω αριστερό μέρος διακρίνεται το laser άντλησης στα 980 nm με το τροφοδοτικό του (2).

(1) Βάση

Όλες οι οπτικές ίνες, τα οπτικά εξαρτήματα και τα οπτικομηχανικά στοιχεία έχουν εγκατασταθεί σε μια βάση 700 X 500 mm. Η βάση αυτή προσφέρει την απαραίτητη σταθερότητα για τη διεξαγωγή του πειράματος.

(2a) Διοδικό laser άντλησης με οπτική ίνα σύνδεσης στο τροφοδοτικό

Ένα διοδικό laser στα 980 nm με οπτική ίνα σύνδεσης, ισχύος 100 mW παρέχεται ως πηγή άντλησης. Για τη ρύθμιση και τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας, ένας ψύκτης θερμοηλεκτρικού τύπου και ένας θερμοστάτης έχουν εφαρμοστεί στη συσκευή του laser. Η δίοδος laser είναι ενσωματωμένη στο τροφοδοτικό LDS1200 (ο τρόπος λειτουργίας του τροφοδοτικού παρουσιάζεται στο παράρτημα).

(2b) Διοδικό laser σήματος με οπτική ίνα σύνδεσης στο τροφοδοτικό

Για την εκτέλεση του πειράματος ενίσχυσης προσφέρεται κι ένα διοδικό laser στα 1.550 nm με οπτική ίνα σύνδεσης, ισχύος 1 mW. Για τη ρύθμιση και τη σταθεροποίηση της θερμοκρασίας έχουν εφαρμοστεί στη συσκευή του laser ένας ψύκτης θερμοηλεκτρικού τύπου και ένας θερμοστάτης. Η δίοδος laser είναι ενσωματωμένη στο τροφοδοτικό LDS1200 (ο τρόπος λειτουργίας του τροφοδοτικού παρουσιάζεται στο παράρτημα).

(3) Διακλαδωτής τύπου WDM (Πολυπλέκτης Κατανομής Μήκους Κύματος)

Μέσα στο διακλαδωτή τύπου WDM οι δύο ίνες υάλου κυκλοφορούν μαζί σε μια στενή περιοχή και προετοιμασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε το φως της άντλησης (980 nm) να μεταβαίνει από τη μία οπτική ίνα στην άλλη, ενώ το φως του σήματος (1.550 nm) να παραμένει στην ίδια οπτική ίνα. Η οπτική ίνα με την κόκκινη επικάλυψη χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του φωτός άντλησης και η οπτική ίνα με τη μπλε επικάλυψη για την καθοδήγηση του φωτός του σήματος. Και οι δύο ακτίνες laser εγκαταλείπουν το διακλαδωτή μέσω της μαύρης οπτικής ίνας.

Η λευκή οπτική ίνα είναι μια ίνα συνήθως αδρανής και χρησιμοποιείται σε μερικά μόνο πειράματα για τις διαδικασίες ευθυγράμμισης.

(4) Τύμπανο τεσσάρων οπτικών ιών ερβίου

Τέσσερις οπτικές ίνες με προσμίξεις ερβίου με μήκος 1m, 2m, 3m και 4m είναι περιελιγμένες στο τύμπανο. Για τεχνικούς λόγους το σφάλμα στο μήκος είναι $\pm 3\text{cm}$.

(5) Οπτικός απομονωτής (optoisolator)

Αυτό το εξάρτημα μεταδίδει φως μήκους κύματος 1.550 nm στην κατεύθυνση της σήμανσης, ενώ κατά την αντίθετη κατεύθυνση το αποκόπτει. Το φως της άντλησης στα 980 nm αποκόπτεται και στις δύο κατευθύνσεις.

(6a) και (6b) Κατευθυντήρες οπτικών ιών (fiber collimators) σε ρυθμιζόμενους υποδοχείς

Δύο κατευθυντήρες οπτικών ιών είναι τοποθετημένοι αντιδιαμετρικά ενώ ανάμεσά τους παρεμβάλλεται ένα κενό αέρος. Σε αυτό το κενό αέρος τοποθετείται ένα φίλτρο διακριτής πυκνότητας το οποίο χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των απωλειών laser και για την ανάκλαση της ακτίνας για την ανίχνευση της.

Για τη σωστή ευθυγράμμιση των σκοπεύτρων αυτά είναι εγκατεστημένα σε δύο ρυθμιζόμενους υποδοχείς.

(7) Φίλτρο διακριτής οπτικής πυκνότητας

Το φίλτρο διακριτής πυκνότητας χρησιμοποιείται για τη μερική ανάκλαση της δέσμης προς τους φωτοανιχνευτές (μέρη 8a, 8b). Παράλληλα, οι έντεκα διαβαθμίσεις του φίλτρου εισάγουν έντεκα διαφορετικές τιμές απώλειας στο δακτύλιο του laser οπτικής ίνας.

(8a) Φωτοανιχνευτής Si-PIN (Ακίδας Πυριτίου) σε ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y.

Ο φωτοανιχνευτής είναι εγκατεστημένος σε περίβλημα το οποίο μπορεί να κουμπώσει σε ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y. Ένα βύσμα υποδοχής τύπου BNC επιτρέπει τη σύνδεση με τον ενισχυτή του τροφοδοτικού LDS 1200 μέσω ενός BNC (ομοαξονικού) καλωδίου.

Ο φωτοανιχνευτής Si-PIN παρουσιάζει φασματική ευαισθησία κατάλληλη για το μήκος κύματος των 980 nm.

(8a) Φωτοανιχνευτής InGaAs (Indium Gallium Arsenide: Αρσενίδιο Γαλλίου-Ινδίου) σε ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y.

Ο φωτοανιχνευτής είναι εγκατεστημένος σε περίβλημα το οποίο μπορεί να κουμπώσει σε ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y. Ένα βύσμα υποδοχής τύπου BNC επιτρέπει τη σύνδεση με τον ενισχυτή του τροφοδοτικού LDS 1200 μέσω ενός BNC (ομοαξονικού) καλωδίου.

Ο φωτοανιχνευτής InGaAs είναι πιο ευαίσθητος στην περιοχή των 1.550 nm.

(9) Κουμπωτό επίπεδο κάτοπτρο (δεν φαίνεται)

Αυτό το κάτοπτρο απαιτείται ως τερματικό κάτοπτρο για τη λειτουργία γραμμικού laser οπτικής ίνας. Πρέπει να εγκατασταθεί σ' έναν από τους ρυθμιζόμενους υποδοχείς των μερών 6a, 6b.

(10) Μονότροπη οπτική ίνα σύνδεσης (δεν φαίνεται)

Δύο οπτικές ίνες σύνδεσης 0,5m και μία 1m χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση διαφορετικών εξαρτημάτων ινών υάλου.

(11) Κάρτα ανίχνευσης υπέρυθρων μήκους κύματος 800 - 1.600 nm (δεν φαίνεται)

5. Μετρήσεις με το laser οπτικών ινών

Η διάταξη laser που αποτελείται από τα προαναφερόμενα εξαρτήματα προσφέρεται για μία ευρεία γκάμα πειραμάτων. Αρχικά πραγματοποιείται χαρακτηρισμός του laser άντλησης σε σχέση με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τη δίοδο laser και τη θερμοκρασία της δίοδου. Μετά τη συζεύξη του φωτός άντλησης στις οπτικές ίνες ερβίου, μπορεί να διερευνηθεί η απορρόφηση και ο φθορισμός των οπτικών ινών.

Χρησιμοποιώντας ένα κατοπτρικό αντηχείο υλοποιούμε ένα γραμμικό laser οπτικής ίνας. Τροφοδοτώντας πίσω στο διακλαδωτή WDM την ακτινοβολία της οπτικής ίνας ερβίου δημιουργούμε ένα laser οπτικής ίνας δακτυλίου. Και τα δύο μπορούν να μελετηθούν όσον αφορά διαφορετικές παραμέτρους του laser, για παράδειγμα το μήκος της οπτικής ίνας ερβίου, τις απώλειες από το φίλτρο διακριτής πυκνότητας, την ισχύ άντλησης κ.ά. Όλες αυτές οι δοκιμές μπορούν να εκτελεστούν είτε σε μία κατάσταση αμφίδρομης λειτουργίας στο laser δακτυλίου, είτε σε λειτουργία μονής κατεύθυνσης μέσω του οπτικού απομονωτή. Η διαμόρφωση της ισχύος του laser άντλησης επιτρέπει τη μελέτη στατικών καθώς και δυναμικών διεργασιών.

Με τη χρήση της πηγής laser των 1.550 nm μπορεί να μελετηθεί η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας της με τις οπτικές ίνες ερβίου. Ένας ενισχυτής οπτικής ίνας με πρόσμειξη ερβίου (EDFA) μπορεί να πραγματοποιηθεί με παράλληλη άντληση στα 980 nm.

Στις επόμενες σελίδες αναφέρονται παραδείγματα πειραματικών διατάξεων και προτείνονται πιθανές μετρήσεις.

5.1 Χαρακτηρισμός διοδικού laser με οπτική ίνα σύνδεσης

Στόχος του συγκεκριμένου πειράματος είναι ο χαρακτηρισμός του διοδικού laser άντλησης όσον αφορά το κατώφλι για δράση laser και της απόδοσής του.

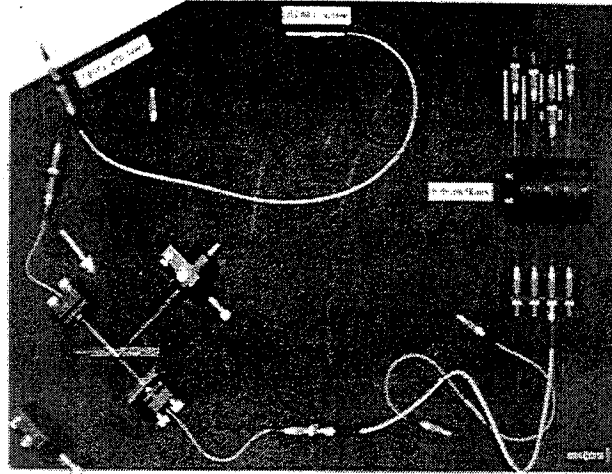
Η ένταση του laser άντλησης μετράται ως συνάρτηση της έντασης του ρεύματος και της θερμοκρασίας δίοδου.

Πειραματική διαδικασία

- Συνδέστε τη λευκή "αδρανή" οπτική ίνα από τον διακλαδωτή WPM απευθείας στο φως άντλησης. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι να οδηγείται η δέσμη στο κενό αέρος χωρίς να περνά από τις οπτικές ίνες ερβίου.
- Τοποθετείστε κάποιο πέτασμα (π.χ. το φίλτρο υπέρυθρων ακτίνων που προσφέρεται) στο σκόπευτρο 6α έτσι ώστε να μη συνεχίζεται η πορεία της δέσμης στις ίνες ερβίου.
- Τοποθετείστε το φωτοανιχνευτή τύπου Si-PIN στην κατάλληλη υποδοχή.

• Θέστε το διαμορφωτή του ρεύματος τροφοδοσίας του διοδικού laser (LDS1200) στην ένδειξη "Triangle", έτσι ώστε να παράγονται τριγωνικοί παλμοί, τα χαρακτηριστικά των οποίων (τιμή κορυφής και περίοδος) να μπορούν να προσδιορισθούν με χρήση παλμογράφου.

Η διάταξη φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 3):



Σχήμα 3 Φωτογραφία της πειραματικής διάταξης με χρήση οπτική ίνας σύνδεσης, στην οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί ο χαρακτηρισμός του laser άντλησης.

Ερωτήσεις-Μετρήσεις

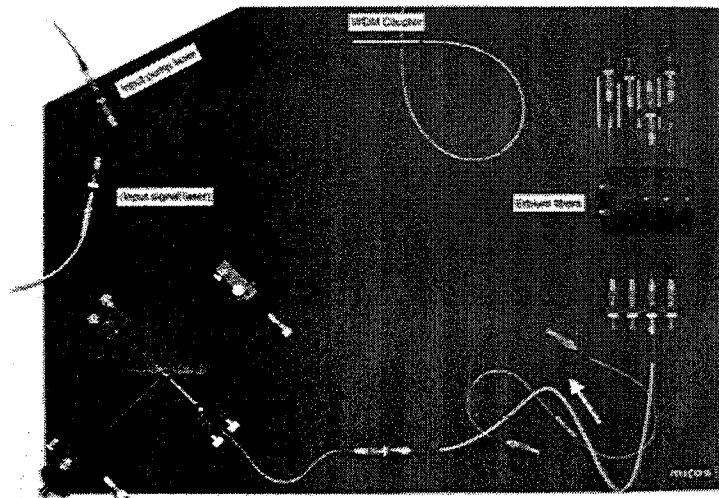
1. Να συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας, να γίνει η αντίστοιχη γραφική παράσταση και να εξηγήσετε γιατί παρουσιάζεται το "κατώφλι" του laser.

A/A	Ένταση ρεύματος [mA]	Ένταση laser [a.u.]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

2. Να υπολογιστεί η κλίση. Ποιά σχέση συνδέει τις δύο παραμέτρους και γιατί;
3. Με ένα παχύμετρο ακριβείας και την κάρτα ανίχνευσης υπερύθρων μετρήστε την ακτίνα της δέσμης που εξέρχεται από τον ακροδέκτη της οπτικής ίνας υάλου, δηλαδή την ακτίνα της δέσμης, συναρτήσεως της έντασης της διόδου του laser άντλησης. Μεταβάλλεται; Αν ναι, γιατί;
4. Κρατώντας σταθερή την ένταση του ρεύματος της διόδου του laser άντλησης και μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία, παρατηρείστε εάν αλλάζει κάτι. Αν ναι, τι είναι αυτό που μεταβάλλεται; Πως το εξηγείτε;
5. Οι ίδιες μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με το laser σήματος (1.550 nm), αρκεί να αντικατασταθεί ο φωτοανιχνευτής Si-PIN με αυτόν του InGaAs.

5.2 Συμπεριφορά φωτός laser άντλησης μέσα από οπτική ίνα με πρόσμειξη ερβίου.

Σ' αυτήν τη σειρά μετρήσεων ερευνάται η αλληλεπίδραση του φωτός laser (άντλησης) με τις οπτικές ίνες με πρόσμειξη ερβίου, οι οποίες δρουν ως μέσο απορρόφησης. Η διάταξη του πειράματος απεικονίζεται παρακάτω (Σχήμα 4):



Σχήμα 4 Απεικόνιση πειραματικής διάταξης όπου μελετάται η αλληλεπίδραση του laser άντλησης με τις οπτικές ίνες με πρόσμειξη ερβίου.

5.2.1 Αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας laser άντλησης

Στη συγκεκριμένη άσκηση μελετάται η απορρόφηση του laser άντλησης από τις οπτικές ίνες με πρόσμειξη ερβίου.

- Τοποθετείστε το laser άντλησης στα 980 nm στην υποδοχή τύπου ST "Input pump Laser".
- Μέσω του διακλαδωτή WDM το σήμα μπορεί να προωθηθεί στις τέσσερις οπτικές ίνες ερβίου 1 m, 2m, 3 m και 4 m.

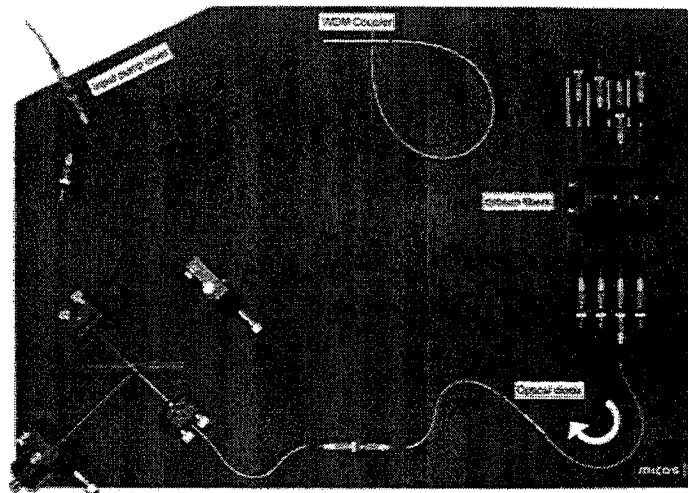
- Τοποθετείστε στην υποδοχή των ινών ερβίου το καλώδιο 0,5 m (κίτρινου χρώματος) που οδηγεί το φως στο κενό αέρος.
- Τοποθετείστε το φωτοανιχνευτή Si-PIN (χωρίς το φίλτρο υπεριώθρων στην κατάλληλη υποδοχή).

Ερωτήσεις - Μετρήσεις

1. Χρησιμοποιώντας τετραγωνική διαμόρφωση (rectangle) από το τροφοδοτικό του laser άντλησης – ώστε να παράγονται τετραγωνικοί παλμοί – αποτυπώστε σε χαρτί τις ενδείξεις του παλμογράφου ανάλογα με τα διάφορα μήκη των ινών ερβίου.
2. Εξηγήστε γιατί υπάρχουν διαφορές στις γραφικές παραστάσεις και που οφείλονται.

5.2.2 Φθορισμός ενεργού μέσου

Για την έρευνα της ακτινοβολίας φθορισμού των οπτικών ινών ερβίου το φως laser άντλησης μπορεί να φιλτράρεται από τον οπτικό απομονωτή. Ως εκ τούτου σ' αυτήν τη διάταξη η οπτική ίνα σύνδεσης αντικαθίσταται από τον οπτικό απομονωτή, όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5). Επιπλέον, αντί για τον ανιχνευτή τύπου Si-PIN χρησιμοποιείται ο φωτοανιχνευτής τύπου InGaAs για τις μετρήσεις.



Σχήμα 5 Αντικαθιστώντας την οπτική ίνα σύνδεσης (κίτρινη) με τον οπτικό απομονωτή επιτρέπουμε μόνο στην ακτινοβολία μήκους κύματος 1.550 nm να διέλθει.

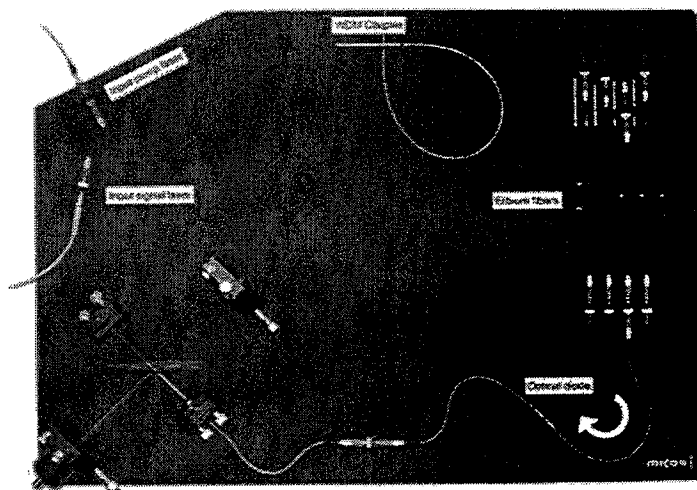
Το πείραμα εκτελείται παρόμοια μ' αυτό στην παράγραφο 5.2.1: Η ένταση του ρεύματος άντλησης διαμορφώνεται σε τετραγωνικό παλμό. Η μορφή του φθορίζοντος σήματος εξετάζεται ως συνάρτηση της ισχύος άντλησης του μήκους της οπτικής ίνας ερβίου. Συνδέοντας δύο τμήματα οπτικής ίνας ερβίου με μια οπτική ίνα σύνδεσης μπορεί να επιτευχθεί αύξηση του συνολικού ενεργού μήκους της οπτικής ίνας ερβίου παραπάνω από τα τέσσερα μέτρα. Συνεπώς μπορεί να δοκιμαστεί ο χρόνος απόσβεσης του φθορισμού για μήκη οπτικής ίνας έως επτά μέτρα.

Ερωτήσεις – Μετρήσεις

1. Αποτυπώστε σε χαρτί τις ενδείξεις του παλμογράφου ανάλογα με τα διάφορα μήκη των ινών ερβίου και υπολογίστε τον χρόνο απόσβεσης. Τι παρατηρείτε; Δώστε μία εξήγηση.

5.3 Μετρήσεις ενίσχυσης EDFA

Ο σκοπός αυτής της σειράς πειραμάτων είναι ο προσδιορισμός της ενίσχυσης ενός σήματος συναρτήσει των παραμέτρων της εντάσεως του laser άντλησης, της εντάσεως του laser σήματος, του μήκους της οπτικής ίνας ερβίου και της θερμοκρασίας του laser διόδου. Για πειράματα οπτικής ενίσχυσης το φως του laser άντλησης και του laser σήματος τροφοδοτούν ταυτόχρονα την οπτική ίνα ερβίου. Η διάταξη φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 6).



Σχήμα 6 Απεικόνιση πειραματικής διάταξης οπτικού ενισχυτή EDFA (ενίσχυση σήματος με οπτική ίνα πρόσμειξης ερβίου). Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιούνται το laser άντλησης και το laser σήματος.

- Τοποθετείστε την κόκκινη οπτική ίνα του διακλαδωτή WDM στον υποδοχέα “rump input laser”.
- Τοποθετείστε την οπτική ίνα σύνδεσης 1m στην υποδοχή “input signal laser”, έτσι ώστε να διέρχεται το laser σήματος και να τροφοδοτεί τη μπλε οπτική ίνα του διακλαδωτή WDM. Και τα δύο σήματα περνούν μέσα από τη μαύρη «κοινή» οπτική ίνα, η οποία συνδέεται με μια από τις τέσσερις οπτικές ίνες ερβίου. Ο οπτικός απομονωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φίλτρο αποκοπής για το φως του laser άντλησης, ώστε ο ανιχνευτής να λαμβάνει τα σήματα των 1.550 nm μόνο.

Το συγκεκριμένο πείραμα μπορεί να εκτελεστεί με τρεις διαφορετικού τρόπους:

- Επίσχυση για διαφορετικές τιμές της ισχύος του laser άντλησης και δεδομένη τιμή της εντάσεως του laser σήματος.
- Επίσχυση για διαφορετικές τιμές της ισχύος του laser σήματος και δεδομένη τιμή της εντάσεως της laser άντλησης.
- Επίσχυση συναρτήσει του μήκους της οπτικής ίνας (επίσης εδώ μπορούν να ενωθούν δύο τμήματα οπτικών ινών μέσω οπτικής ίνας σύνδεσης).

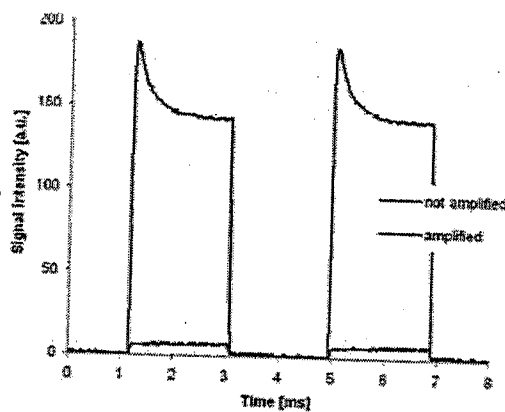
Ερωτήσεις - Μετρήσεις

Στις επόμενες ερωτήσεις να δοθούν απαντήσεις ανά διαφορετικό τρόπο διεξαγωγής του πειράματος:

1. Για ποιό μήκος οπτικής ίνας η επίσχυση του σήματος είναι μέγιστη; Γιατί;
2. Για ποιό μήκος οπτικής ίνας εμφανίζεται το φαινόμενο της αυτο-απορρόφησης ή /και του κορεσμού; Γιατί;
3. Είναι η επίσχυση γραμμικώς εξαρτημένη με την ένταση της άντλησης ή του σήματος;
4. Πως επιδρά η θερμοκρασία του laser διόδου στην επίσχυση του σήματος; Δώστε μία εξήγηση.

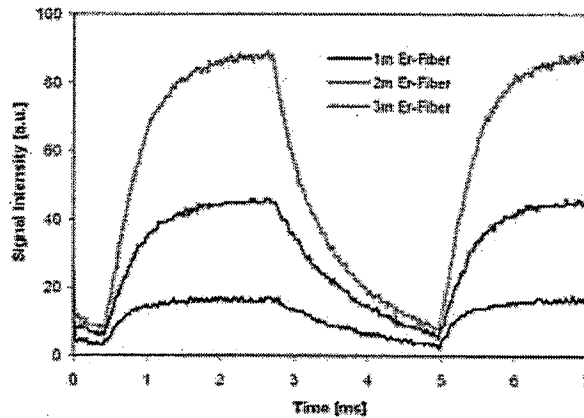
Δύο παραδείγματα μετρήσεων φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.

Πρώτο παράδειγμα: Επίσχυση από οπτική ίνα ερβίου 3 μέτρων (η ένταση του laser σήματος με διαμόρφωση τετραγωνικού παλμού, ενώ το laser άντλησης βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία) (Σχήμα 7).



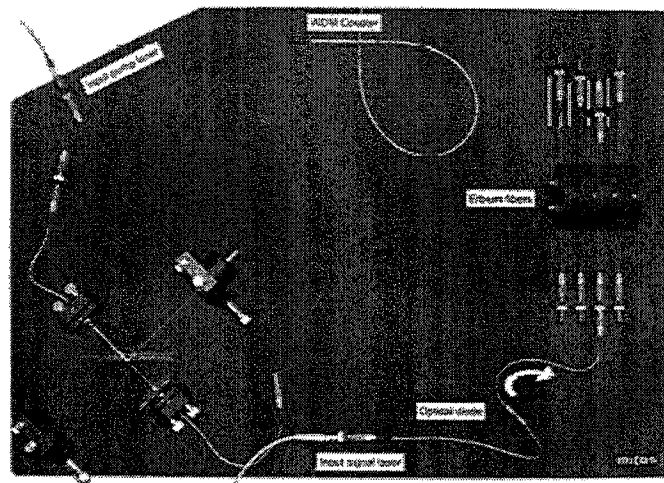
Σχήμα 7 Με τις δύο διαφορετικές γραμμές απεικονίζεται το σήμα πριν και μετά την επίσχυση.

Δεύτερο παράδειγμα: Επίσχυση συναρτήσει του μήκους της οπτικής ίνας (η ένταση του laser άντλησης με διαμόρφωση τετραγωνικού παλμού, ενώ το laser σήματος βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία) (Σχήμα 8).



Σχήμα 8 Ανάλογα το μήκος της οπτικής ίνας με πρόσμειξη ερβίου αλλάζει η μορφή του σήματος.

Όλες αυτές οι μετρήσεις μπορούν να ερευνηθούν και στην περίπτωση που η κατεύθυνση της άντλησης είναι αντίθετη από την εκπομπή του σήματος. Η διάταξη απεικονίζεται παρακάτω (Σχήμα 9).



Σχήμα 9 Αντιστρέφοντας του ακροδέκτες του οπτικού απομονωτή αλλάζουμε τη φορά του σήματος στην πειραματική διάταξη.

5.4 Προσδιορισμός του φίλτρου διακριτής πυκνότητας

Έως εδώ το φίλτρο χρησιμοποιούνταν ως διαχωριστής δέσμης μόνο. Στα επόμενα πειράματα το κενό αέρος θα είναι μέρος του αντηχείου του laser. Ως εκ τούτου, το φίλτρο δε θα λειτουργεί μόνο ως ζεύκτης του σήματος εξόδου αλλά επίσης, ως στοιχείο για τη ρύθμιση των απωλειών του laser.

Για ποσοτικές διερευνήσεις του laser οπτικής ίνας οι τιμές της απορρόφησης των τμημάτων του φίλτρου πρέπει να είναι γνωστές. Αυτές μπορούν να μετρηθούν ως εξής: ένας από τους κατευθυντήρες οπτικής ίνας (μέρος 6) τοποθετείται στον

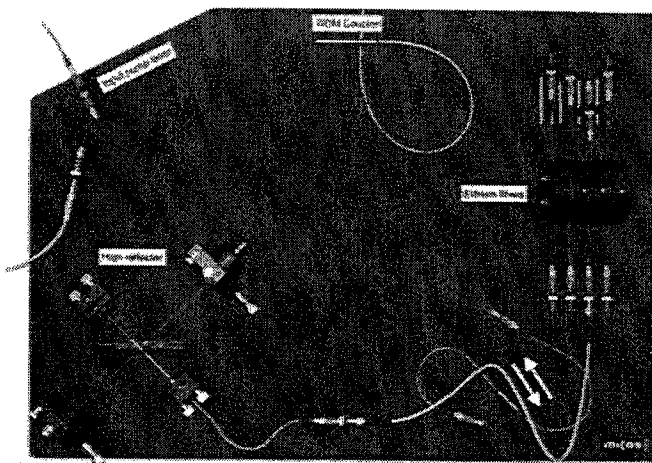
ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y (μέρος 8b). Η έξοδος της οπτικής ίνας του laser άντλησης (ή του laser σήματος) πρέπει να συνδεθεί με τον κατευθυντήρα μέσω ενός ελεύθερου συζευκτήρα τύπου ST. Στον αντίθετο ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y (μέρος 8a) εφαρμόζεται ο φωτοανιχνευτής τύπου Si-PIN (ή ο φωτοανιχνευτής τύπου InGaAs). Πρώτα μετριέται η σχετική ένταση χωρίς φίλτρο, φροντίζοντας ώστε η ισχύς του laser και το κέρδος του φωτοανιχνευτή να μη φθάνουν στον κορεσμό! Κατόπιν εγκαθίσταται το φίλτρο και μετριέται η εκπομπή από κάθε ένα τμήμα του φίλτρου (ρυθμίζοντας τον υποδοχέα x-y για την ευθυγράμμιση της δέσμης από το φίλτρο).

Ερωτήσεις – Μετρήσεις

1. Καταγράψτε τις τιμές που βρήκατε ανά βαθμίδα.

5.5 Γραμμικό laser οπτικής ίνας

Το πείραμα του ενισχυτή οπτικής ίνας ερβίου στην παράγραφο 5.3 εύκολα μπορεί να επεκταθεί σε γραμμικό laser οπτικής ίνας: για να έχουμε δράση laser θα πρέπει να υπάρχει ανατροφοδότηση του σήματος στην ενεργό οπτική ίνα, το οποίο επιτυγχάνεται με τη διάταξη που απεικονίζεται παρακάτω (Σχήμα 10).



Σχήμα 10 Απεικόνιση πειραματικής διάταξης για γραμμικό laser οπτικής ίνας. Τα αντηχεία του laser αποτελούν το κάτοπτρο και ο συζευκτήρας τύπου ST (επιπροσθέτως με την οπτική ίνα σύνδεσης)

Πειραματική διαδικασία

- Αντικαταστήστε τον οπτικό απομονωτή με την οπτική ίνα σύνδεσης 0,5 m και τον αριστερό κατευθυντήρα οπτικών ινών (6b) με το επίπεδο κάτοπτρο.
- Ξεκινώντας με την οπτική ίνα ερβίου στη μέγιστη ισχύ άντλησης, τοποθετείστε το φίλτρο διακριτής πυκνότητας από τη χαμηλότερη έως τη μέση τιμή ανάκλασης.
- Ρυθμίστε το κάτοπτρο ώστε να ανακλά στο κέντρο του κατευθυντήρα της οπτικής ίνας.
- Με τη βοήθεια του φωτοανιχνευτή τύπου InGaAs σημειώστε το σήμα που λαμβάνεται από τον παλμογράφο (βελτιστοποιήστε παράλληλα το φωτοανιχνευτή από τον ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y).

Ο συζευκτήρας της μπλε οπτικής ίνας του διακλαδωτή WDM αποτελεί το άλλο οπτικό αντηχείο (με πολύ μικρή ανακλαστικότητα) του laser οπτικής ίνας, η ανακλαστικότητα του οποίου μπορεί να αυξηθεί με τη σύζευξη της οπτικής ίνας σύνδεσης 1 m στη μπλε οπτική ίνα του WDM. Η οπτική ίνα σύνδεσης δεν πρέπει να συνδεθεί εντελώς (δηλαδή το άλλο άκρο να μην είναι συνδεδεμένο κάπου) και με μεταβολή της απόστασης του συζευκτήρα μπορεί να βρεθεί το βέλτιστο της διαδικασίας του laser. Εάν αυτό επιτευχθεί, το laser μπορεί να λειτουργήσει με την οπτική ίνα ερβίου 3 m, καθώς επίσης και με την οπτική ίνα ερβίου 2m.

Παρατήρηση: μόνο μία μικρή ποσότητα της εκπομπής του laser ανακλάται στην επιφάνεια του συζευκτήρα. Το μεγαλύτερο μέρος μεταδίδεται και ανακλάται πάλι από το ελεύθερο άκρο του καλωδίου οπτικής ίνας. Επομένως η οπτική ίνα σύνδεσης δρα ως δευτερεύον αντηχείο σε σύζευξη με το κύριο αντηχείο του laser. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή διαμόρφωση στο σήμα του laser. Για να αντιμετωπισθεί αυτό θα πρέπει να μειωθεί η ανακλαστικότητα του ελεύθερου άκρου της οπτικής ίνας σύνδεσης, κάτι το οποίο μπορεί να γίνει με εμβάπτισή του σε ένα ποτήρι νερό.

Ερωτήσεις – Ασκήσεις

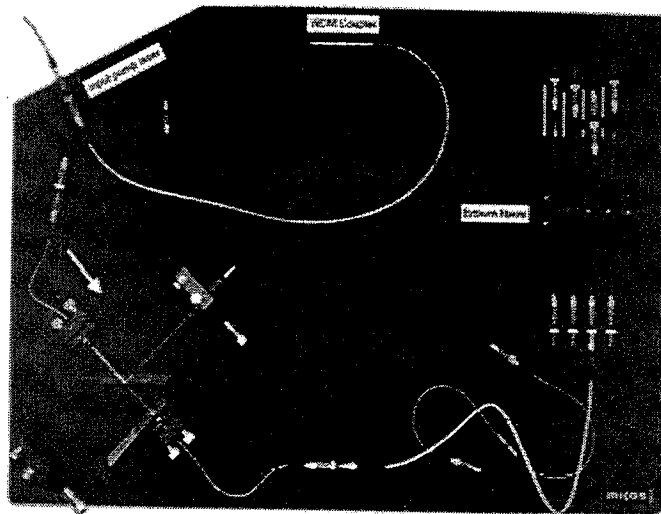
1. Μελετήστε το κατώφλι για δράση laser και την απόδοσή του συναρτήσει της εντάσεως του laser άντλησης. Προτείνεται να χρησιμοποιηθεί τριγωνική διαμόρφωση. Η αντιστάθμιση (offset) του διαμορφωτή στο τροφοδοτικό του laser άντλησης μπορεί να ρυθμιστεί με το ελάχιστο του τριγωνικού παλμού να αντιστοιχεί στο κατώφλι για δράση laser, έτσι ώστε το laser άντλησης να είναι σε άμεση σχέση με την ένταση του laser σήματος.
2. Μελετήστε την επίδραση των απωλειών από το φίλτρο διακριτής πυκνότητας. Πώς η ένταση και οι άλλοι παράμετροι του laser αλλάζουν σε σχέση με τις επιπρόσθετες απώλειες;
3. Για κάθε μία διαβάθμιση του φίλτρου διακριτής πυκνότητας πάρτε μία μέτρηση για την ένταση του laser. Κάντε το αντίστοιχο διάγραμμα.
4. Μελετήστε την επίδραση του μήκους της οπτικής ίνας στην εκπομπή του laser. Επιλέγοντας τετραγωνική διαμόρφωση καταγράψτε το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της έναρξης του παλμού άντλησης και του παλμού laser.

5.6 Laser οπτική ίνας δακτυλίου

Στην επόμενη φάση το γραμμικό laser οπτικής ίνας μετατρέπεται σε laser οπτικής ίνας δακτυλίου. Πρώτον, το τερματικό κάτοπτρο στο ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y (μέρος 6b) πρέπει να αντικατασταθεί από ένα δεύτερο κατευθυντήρα. Δεύτερον, οι δύο κατευθυντήρες που περικλείουν το κενό αέρος πρέπει να ευθυγραμμιστούν

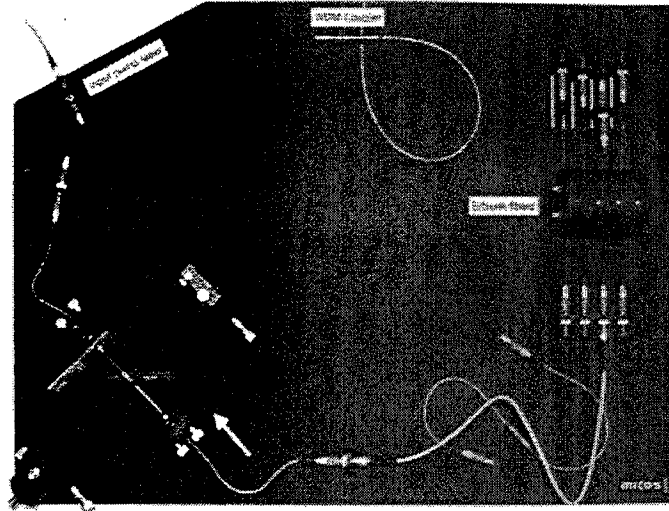
για μέγιστη μετάδοση φωτός από τον έναν στον άλλον. Αρχικά σκοπός είναι η ρύθμιση των κατευθυντήρων.

- Αφαιρέστε το τερματικό κάτοπτρο από τον ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y χαλαρώνοντας τις βίδες, και τοποθετείστε τον δεύτερο κατευθυντήρα οπτικής ίνας.
- Κουμπώστε στον κατευθυντήρα την μπλε οπτική ίνα του διακλαδωτή WDM. Το laser άντλησης τροφοδοτείται με αριστερόστροφη κατεύθυνση.
- Ξεκουμπώστε την κόκκινη οπτική ίνα του διακλαδωτή WDM και κουμπώστε τη λευκή "αδρανή" οπτική ίνα στον υποδοχέα "rump laser input". Το φως που εξέρχεται από τον αριστερό κατευθυντήρα (μέρος 6b) πρέπει να κατευθυνθεί τον δεξιό κατευθυντήρα όσο το δυνατόν ακριβέστερα. Η θέση της δέσμης ελέγχεται με τη βοήθεια της κάρτας ανίχνευσης υπέρυθρων (Σχήμα 11).



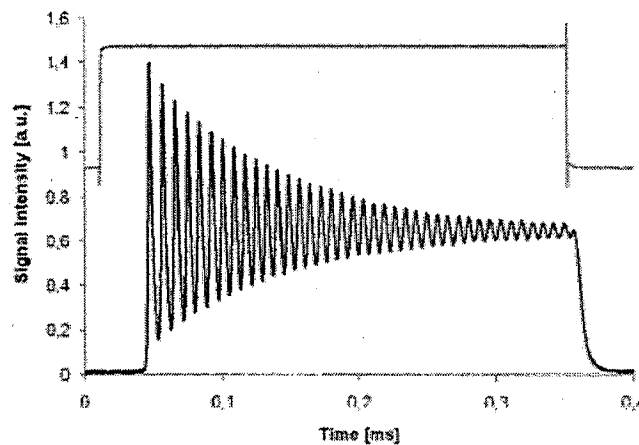
Σχήμα 11 Στο παραπάνω σχήμα διακρίνεται η κάρτα ανίχνευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας που έχει τοποθετηθεί μπροστά από τον έναν κατευθυντήρα, με σκοπό την ευθυγράμμιση της δέσμης. Επίσης διακρίνεται η οπτική ίνα σύνδεσης 0,5 m.

Μετά από αυτό συνδέστε την κόκκινη οπτική ίνα στην υποδοχή τύπου ST "input rump laser". Το φως ταξιδεύει πλέον μέσω της οπτικής ίνας ερβίου και της οπτικής ίνας σύνδεσης στο κενό αέρος.



Σχήμα 12 Η ίδια ακριβώς διαδικασία επαναλαμβάνεται για την ευθυγράμμιση της δέσμης και για τον άλλον κατευθυντήρα, τοποθετώντας την κάρτα ανίχνευσης υπέρυθρης ακτινοβολίας από την άλλη μεριά.

Η δέσμη ρυθμίζεται στο δεξιό κατευθυντήρα με τον ίδιο τρόπο που ρυθμίστηκε και στον αριστερό (Σχήμα 12). Θέτουμε στο laser άντλησης τετραγωνική διαμόρφωση και θα πρέπει να εμφανίζεται στον παλμογράφο ένα σήμα όπως στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 13):

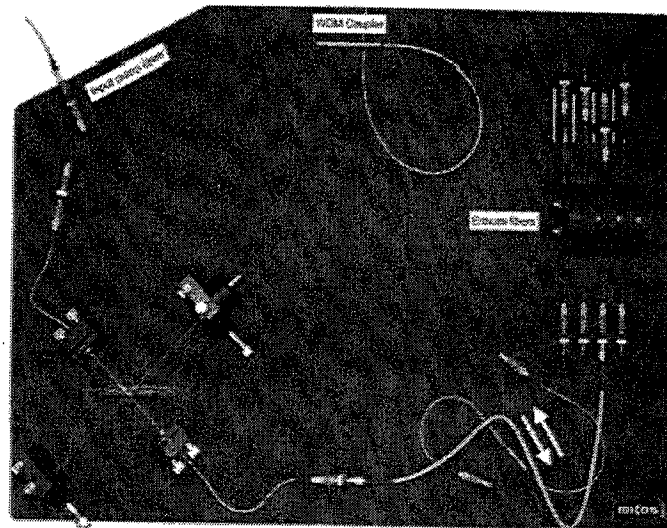


Σχήμα 13 Στην ιδανική περίπτωση θα πρέπει να παρατηρήσουμε μία τέτοια ταλάντωση η οποία να ξεκινάει αργότερα από τον παλμό και να αποσβένει για την υπόλοιπη διάρκεια του παλμού.

Εάν δε συμβεί αυτό θα πρέπει να εκτελεστεί ένας δεύτερος κύκλος ρυθμίσεων του αριστερού και του δεξιού κατευθυντήρα όπως παραπάνω. Επιπλέον, θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η δέσμη laser ανακλάται από το φίλτρο διακριτής πυκνότητας χτυπώντας τη μικρή ευαίσθητη περιοχή του φωτόανιχνευτή. Επίσης, η δέσμη laser θα πρέπει να ανακλάται σε σημείο χαμηλής πυκνότητας του φίλτρου διακριτής πυκνότητας, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες.

Στη συνέχεια, το σήμα θα πρέπει να βελτιστοποιηθεί μέσω των κοχλιών ρύθμισης των υποδοχέων των κατευθυντήρων, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η έντασή του καθώς επίσης και να ελαχιστοποιηθεί η καθυστέρηση μεταξύ του παλμού άντλησης και της πρώτης κορυφής του παλμού του laser. Επίσης, ο φωτοανιχνευτής στο ρυθμιζόμενο υποδοχέα x-y πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα για μέγιστο σήμα.

Η ολοκληρωμένη διάταξη του laser οπτικής ίνας δακτυλίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 14):



Σχήμα 14 Απεικόνιση της πειραματικής διάταξης laser οπτικής ίνας δακτυλίου διπλής κατεύθυνσης.

Ερωτήσεις - Μετρήσεις

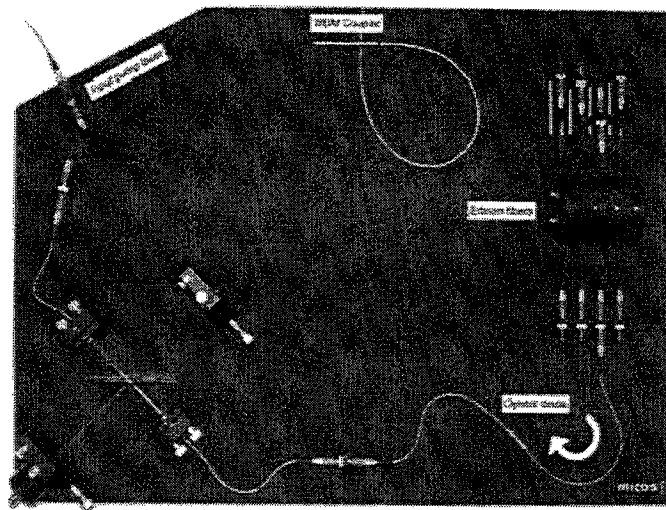
1. Χρησιμοποιώντας τριγωνική διαμόρφωση και αυξάνοντας κλιμακωτά την ένταση του ρεύματος άντλησης συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα:

A/A	Ρεύμα άντλησης [mA]	Ένταση κορυφής laser [a.u]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

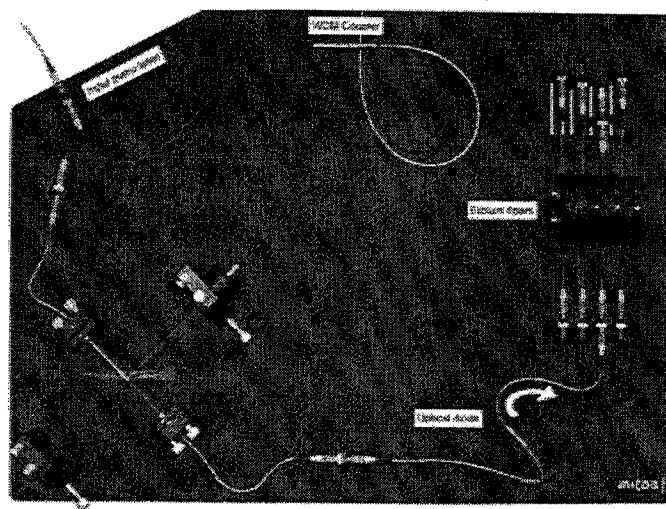
2. Με βάση αυτές τις μετρήσεις κάντε την αντίστοιχη γραφική παράσταση. Σε ποιά τιμή περίπου του ρεύματος άντλησης επιτυγχάνεται το κατώφλι για δράση laser;
3. Η ένταση εκπομπής του laser μπορεί να μελετηθεί ως συνάρτηση της οπτικής πυκνότητας του φίλτρου διακριτής πυκνότητας (ρύθμιση των απωλειών) και του μήκους της οπτικής ίνας.
- Πως μεταβάλλεται η ένταση του laser συναρτήσει της οπτικής πυκνότητας του φίλτρου;
 - Πως μεταβάλλεται η ένταση του laser συναρτήσει του μήκους της οπτικής ίνας ερβίου;
 - Για ποιο συνδυασμό των παραπάνω παραμέτρων είναι το laser περισσότερο αποδοτικό;
4. Όλες αυτές οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν τόσο για δεξιόστροφη όσο και για αριστερόστροφη λειτουργία του laser οπτικής ίνας (η εναλλαγή γίνεται απλά αλλάζοντας τη θέση του φωτοανιχνευτή).
- Ποιές διαφορές παρατηρούνται;
 - Ποιά κατεύθυνση εκπομπής έχει τη βέλτιστη απόδοση;

5. Μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του laser άντλησης μπορούν να επαναληφθούν πολλές από τις μετρήσεις που αναφέρονται παραπάνω. Τι αλλάζει μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία; Γιατί;

Όλες οι προηγούμενες μετρήσεις μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν αλλάζοντας τη λειτουργία του laser δακτυλίου από αμφίδρομη σε μονόδρομη, με τη βοήθεια του οπτικού απομονωτή που επιτρέπει την εκπομπή laser στη μία ή στην άλλη μόνο κατεύθυνση. Οι επόμενες εικόνες δείχνουν την διάταξη για τη λειτουργία του laser σε δεξιόστροφη (Σχήμα 15) ή αριστερόστροφη (Σχήμα 16) κατεύθυνση (αλλάζοντας τη φορά του οπτικού απομονωτή και τη θέση του φωτοανιχνευτή).



Σχήμα 15 Laser οπτικής ίνας δακτυλίου δεξιόστροφης κατεύθυνσης.



Σχήμα 16 Laser οπτικής ίνας δακτυλίου αριστερόστροφης κατεύθυνσης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τροφοδοτικό διοδικού laser LDS 1200

Γενικά:

Το περίβλημα του τροφοδοτικού LDS 1200 μπορεί να πάρει κλίση με τη βοήθεια των δύο αρθρωτών ποδιών στη βάση του. Δεν πρέπει να καλύπτονται οι αεραγωγοί που βρίσκονται στο επάνω και στο κάτω μέρος του περιβλήματος. Μία επαρκής κυκλοφορία ελεύθερου αέρα εξασφαλίζεται εάν υπάρχει κενός χώρος 100 mm περιμετρικά του περιβλήματος. Το άνοιγμα του περιβλήματος, κατά την αποσύνδεσή του από το δίκτυο, πρέπει να γίνει από εξουσιοδοτημένο άτομο μόνο.

- **Πρόσοψη τροφοδοτικού (Σχήμα 17):**

- **Ενότητα: Τροφοδοσία laser (Laser Power)**

Ο διακόπτης κλειδιού σ' αυτήν την ενότητα επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί για την εκκίνηση του laser μόνο από αρμόδια άτομα. Το κλειδί πληροί το πρότυπο ασφαλείας DIN EN 60825-1.

Προσοχή: Εάν ο διακόπτης κλειδιού βρίσκεται στη θέση "On" το laser μπορεί να εκπέμπει!

- **Ενότητα: Θερμοκρασία laser (Laser Temperature)**

Η θερμοκρασία του διοδικού laser ελέγχεται από ένα ψύκτη θερμοηλεκτρικού τύπου σε συνδυασμό με έναν θερμοστάτη τοποθετημένο στο εσωτερικό του περιβλήματος του laser. Η κλίμακα της θερμοκρασίας κυμαίνεται από 5°C έως 35°C.

Σημείωση: Οι θερμοκρασίες δε πρέπει να παραμένουν πάνω από 30°C για το γεγονός ότι κάτι τέτοιο θα μείωνε τη διάρκεια ζωής της διόδου laser.

- **Ενότητα: Ένταση laser (Laser Current)**

Πιέζοντας τα πλήκτρα (▲ ▼) σ' αυτή την ενότητα μπορεί να ρυθμιστεί η ένταση του ρεύματος της διόδου laser ανά 1mA. Η κλίμακα ρύθμισης της εντάσεως του ρεύματος της διόδου laser άντλησης περιορίζεται στη μέγιστη τιμή των 160 mA. Στην περίπτωση του προαιρετικού διοδικού laser σήματος η μέγιστη τιμή είναι τα 30 mA.

Σημείωση: Όταν το διοδικό laser είναι κλειστό συνιστάται η ένταση του ρεύματος να είναι στο μηδέν «0» και ο διακόπτης κλειδιού της ενότητας «Ισχύς Laser» στη θέση «Off» προτού ο κύριος διακόπτης ανοίξει. Έτσι αποφεύγεται η πρόσθετη καταπόνηση της διόδου laser και παρατείνεται ο χρόνος ζωής της.

- **Ενότητα: Διαμορφωτής Laser (Laser Modulator)**

Αυτή η ενότητα αποτελείται από τρεις στήλες πλήκτρων:

- **Τρόπος λειτουργίας (Mode)**
Σ' αυτήν την ενότητα μπορεί να ρυθμιστεί ο τύπος διαμόρφωσης της έντασης της διόδου laser. Μπορεί να επιλεγεί μεταξύ «Τριγωνικής (Triangle)» και «Τετραγωνικής (Rectangle)» διαμόρφωσης (παλμού) και συνεχούς λειτουργίας (πλήκτρο "Off"). Σε κάθε καινούργιο ξεκίνημα του τροφοδοτικού (απ' τον κύριο διακόπτη στο πίσω μέρος) ο τύπος διαμόρφωσης είναι αυτόματα ρυθμισμένος στη συνεχή λειτουργία. Η πραγματική κατάσταση της διαμόρφωσης εμφανίζεται από την ένδειξη του πράσινου LED.
- **Συχνότητα (Frequency)**
Πιέζοντας τα πλήκτρα (▲ ▼) σ' αυτήν τη στήλη μεταβάλλεται η συχνότητα του παλμού σε μία κλίμακα μεταξύ 200Hz και 500Hz ώστε να παρθεί ένα ικανοποιητικό χρονικό παράθυρο στην οθόνη του παλμογράφου.
- **Αξονική μετατόπιση (Offset)**
Αυτό το σύνολο των πλήκτρων επιτρέπει στο χρήστη να προσθέσει μία επιπλέον DC συνιστώσα στη διαμόρφωση τάσης της διόδου laser. Αυτό είναι χρήσιμο ώστε να κρατήσει τη δίοδο laser πάνω από το κατώφλι του laser ώστε ν' αποφευχθούν επιπλέον καταπονήσεις στη δίοδο laser. Το πλήκτρο "0" ρυθμίζει τη τιμή της αξονικής μετατόπισης στο μηδέν.
- **Ενότητα: Φωτοδίοδος (Photo Diode)**
Πιέζοντας τα πλήκτρα (▲ ▼) αυτής της ενότητας ρυθμίζεται το κέρδος (η απολαβή / gain) του ενισχυτή της φωτοδιόδου. Το κέρδος του ενισχυτή υποδεικνύεται από τη στήλη των LED. Οι υποδοχείς βυσμάτων εισόδου και εξόδου του ενισχυτή είναι τοποθετημένοι στο πίσω μέρος του τροφοδοτικού.
- **Ενότητα: Έλεγχος laser (Laser Control)**
Αυτή η ενότητα υποδεικνύει τη κατάσταση της επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ του τροφοδοτικού LDS 1200 και του απομακρυσμένου συστήματος ελέγχου μέσω σύνδεσης RS 232. Όταν το LDS 1200 είναι σε κατάσταση απομακρυσμένου ελέγχου το κόκκινο LED "Remote" είναι ενεργοποιημένο. Σε κανονική λειτουργία είναι ενεργοποιημένο το πράσινο LED "Local".
- **Οπίσθια όψη τροφοδοτικού (Σχήμα 18):**

 - **Κύρια σύνδεση και διακόπτης (Line Power)**
Προτού το τροφοδοτικό συνδεθεί στη γραμμή τάσης πρέπει να έχει εξασφαλιστεί ότι η γραμμή τάσης είναι συνεπής με την αναφερόμενη τάση στο πίσω μέρος.

Συνίσταται να χρησιμοποιείται το παρεχόμενο καλώδιο τροφοδοσίας. Η τιμή της ασφάλειας στον σύνδεσμο ισχύος (τροφοδοσίας) είναι 0,3 Α. Μία επιπλέον ασφάλεια έχει παραδοθεί μαζί με το τροφοδοτικό.

- **Είσοδος / Έξοδος φωτοδιόδου (Photo Diode Input / Output)**

Ο φωτοανιχνευτής (μέρος 8) πρέπει να συνδεθεί κατευθείαν στην υποδοχή BNC με τη σήμανση "Photo Diode Input" στο πίσω μέρος του τροφοδοτικού με το παραδοτέο καλώδιο BNC.

Στην υποδοχή BNC με σήμανση "Photo Diode Output" πρέπει να συνδεθεί ένας παλμογράφος ή ένα ψηφιακό πολύμετρο για την παρακολούθηση των σχετικών σημάτων.

- **Έξοδος σήματος διαμορφωτή (Modulator Output Signal)**

Αυτή η υποδοχή BNC παρέχει τα σήματα του διαμορφωτή της διόδου laser για παρακολούθηση σε παλμογράφο και συγχρονισμό της διαμόρφωσης laser σε εξωτερικές μονάδες ελέγχου.

Σημείωση: Το πλάτος της κλίμακας διαμόρφωσης του σήματος εξόδου ρυθμίζεται απ' την ένταση της διόδου laser με τα κατάλληλα πλήκτρα (▲ ▼).

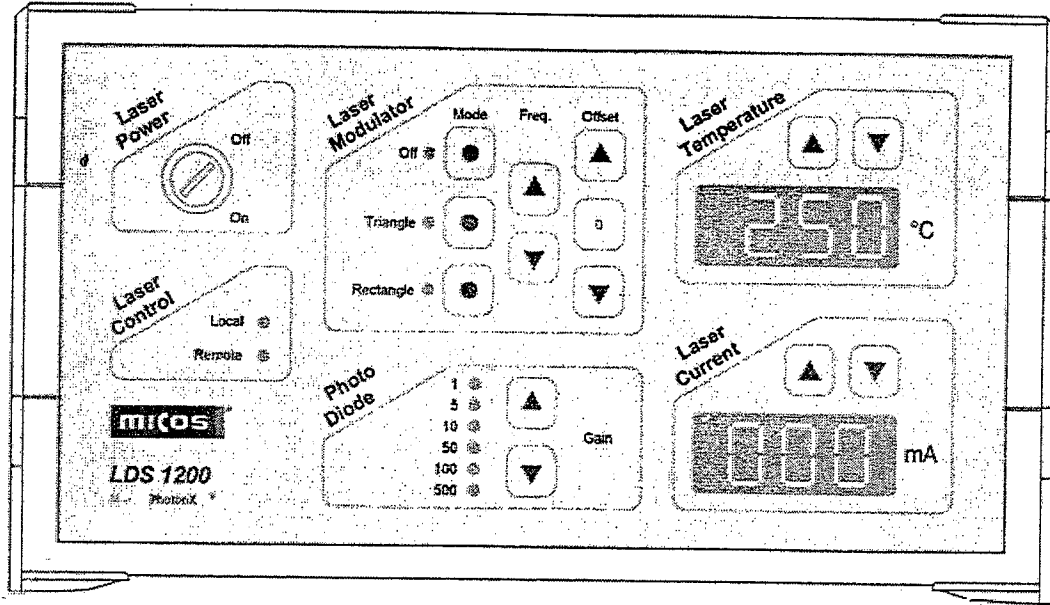
- **Γραμμή οπτικής ίνας υάλου**

Η διόδος laser με οπτική ίνα σύνδεσης είναι εγκατεστημένη στο τροφοδοτικό και η εκπεμπόμενη ακτινοβολία της εξέρχεται απ' το τροφοδοτικό μέσω της οπτικής ίνας υάλου. Η ακτίνα κάμψης της οπτικής ίνας υάλου δε πρέπει να είναι μικρότερη από 3cm! Ν' αποφευχθεί το τέντωμα του καλωδίου οπτικής ίνας υάλου!

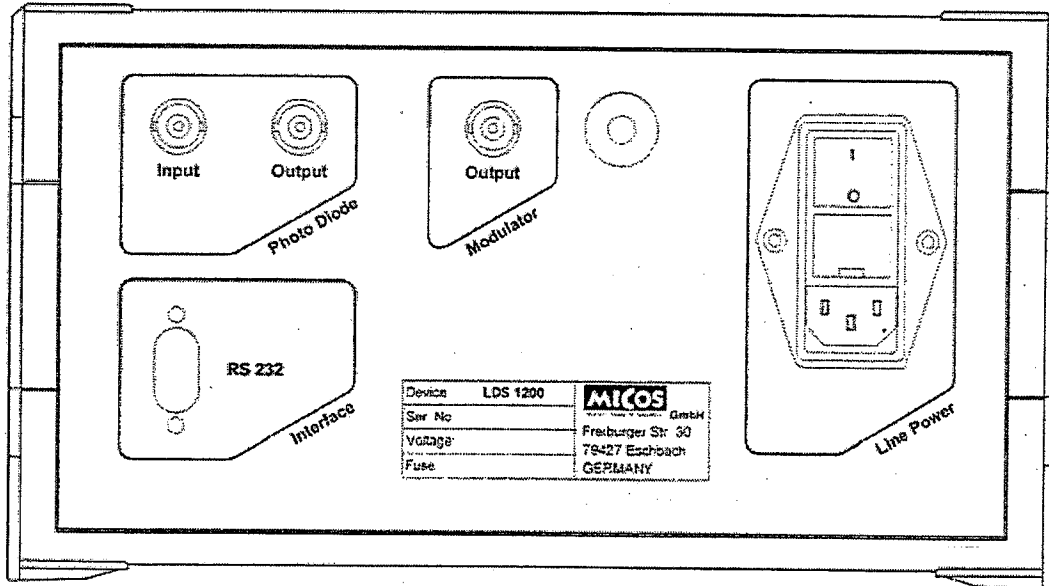
Στην περίπτωση του laser σήματος στα 1.550 nm το τροφοδοτικό εμφανίζει ένα σύνδεσμο τύπου ST στο αντίστοιχο μέρος. Η σύνδεση κατά τη συναρμογή επιτυγχάνεται μέσω του παρεχόμενου μονοτροπικού καλωδίου σύνδεσης οπτικής ίνας.

- **Συνδεσμολογία RS 232 (RS 232 Interface)**

Το τροφοδοτικό της διόδου laser LDS 1200 μπορεί να ελεγχθεί μέσω απομακρυσμένου υπολογιστή με συνδεσμολογία RS 232. Το παρεχόμενο καλώδιο συνδεσμολογίας συνδέεται στο τροφοδοτικό σε μία θύρα RS 232 σαν τη σειριακή θύρα του υπολογιστή.



Σχήμα 17 Πρόσψη τροφοδοτικού LDS1200.



Σχήμα 18 Οπίσθια όψη τροφοδοτικού LDS1200.