

TESINA PER L'ESAME DI STATO

A.S. 2011/12

ICT: INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

Di: *Marco Pizzo*

Il presente contributo, elaborato dallo studente **Marco PIZZO** dell'Istituto Tecnico Industriale "Giovanni XXIII" di Roma, è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo "Stage a Tor Vergata", promosso da MIUR (Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici e per l'autonomia scolastica) e tenuto presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" in due fasi:

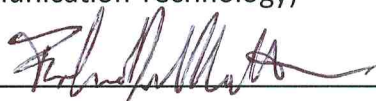
Stage Estivo dal 20 al 24 giugno 2011

Stage Invernale dal 7 al 9 febbraio 2012 (giornata conclusiva 19 marzo 2012).

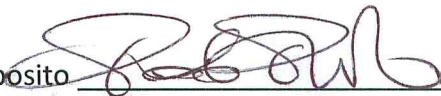
Le attività didattiche previste dal Programma dello Stage sono state realizzate all'interno di tre gruppi di ricerca, guidati da docenti del Dipartimento di Fisica.

I responsabili delle attività laboratoriali del Modulo di scienza dei materiali per ICT
(Information and Communication Technology)

Prof. Fabio De Matteis



Prof. Paolo Proposito



Il Direttore degli Stage a Tor Vergata

Prof. Nicola Vittorio

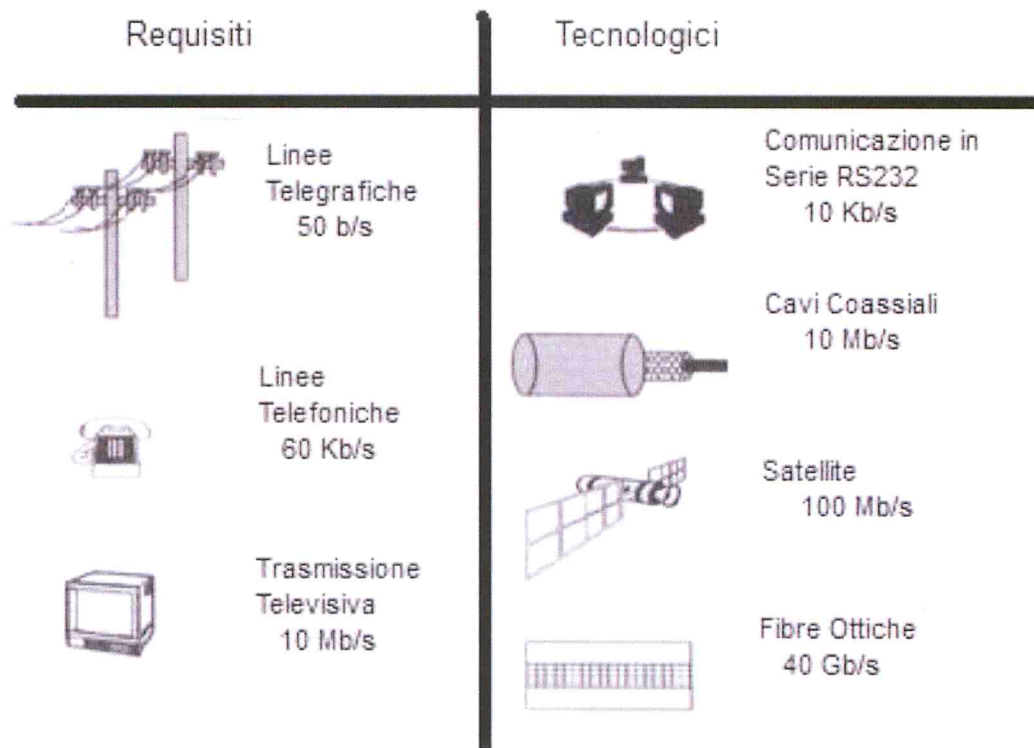


Realizzazione di guide d'onda canale, strutture di base per l'ICT (Information and Communication Technology)

Nella società, sia antica che moderna, la comunicazione è stata sempre una caratteristica di primaria importanza. Lo scambio di informazioni è però mutato nel corso degli anni in quanto i metodi hanno subito una necessaria evoluzione (positiva). Le prime forme di comunicazione si possono riscontrare nei primi geroglifici. Sono infatti la prova di come cercassero di comunicare gli antichi. Un'evoluzione di questi simboli portò all'alfabeto, molto più pratico e più preciso. Importantissimo però era anche lo scambio diretto delle informazioni. Con la scrittura e con l'inizio delle guerre per la conquista di territori, è divenuto fondamentale comunicare direttamente. L'informazione veniva consegnata a un messaggero/informatore che la portava a destinazione. Metodo però non molto efficiente in quanto i viaggi erano compiuti con i cavalli e quindi la circolazione delle informazioni era molto lenta ed approssimativa. Per avere un più rapido scambio quindi non si poteva ricorrere al metodo del "passaparola", ma bisognava trovare una soluzione più opportuna. La nascita della stampa nel 1400 fu solo un modo per migliorare le comunicazioni scritte, ma non migliorò la tempistica. Importantissima fu la rivoluzione industriale, in specie la seconda, dove si ebbe un cambiamento radicale dei trasporti. L'invenzione del motore a vapore e quindi del treno portò a una velocizzazione dell'informazione molto importante. Ma ciò non era ancora abbastanza, in quanto si cercava di migliorare ancor di più la rapidità di scambio. Ma più importante fra tutte fu l'invenzione della corrente elettrica. Grazie a quest'ultima si poté comunicare a distanza in modo semplice, rapido e veloce. Ma la comunicazione grazie all'elettricità ebbe molte innovazioni e cambiamenti. Da qui l'invenzione della radio e successivamente del cinema. Ma queste due si fermarono a una informazione locale, che riuscivano a coprire al massimo la rete nazionale. La prima forma di comunicazione a distanza fu il telegrafo, un congegno in grado di trasmettere un segnale elettrico fatto da impulsi, quali linee e punti, da codificare con le lettere dell'alfabeto. Molto importante soprattutto per le comunicazioni via mare, usato fino a qualche decennio fa. Ma ancora più importante ed innovativa fu la terza rivoluzione industriale, che portò all'invenzione del telefono e più in là ai computer. Con esso si riuscì finalmente a comunicare direttamente con la persona desiderata, comunicando personalmente il messaggio senza problemi di errori nella codifica del messaggio o della ricezione di quest'ultimo. La rete telefonica si ampliò grazie ai fissi e toccò il culmine con i cellulari. Fondamentale fu la presenza della



televisione, che portò ad uno scambio globale delle informazioni più importanti per mezzo dei telegiornali. Un ulteriore progresso si ebbe con l'avvento del computer, dispositivo in grado di sfruttare una connessione alla rete internet per comunicare. Questo, intorno all'inizio del secondo millennio, arrivò alla sua più totale forma di comunicazione con l'invenzione dei social network, una rete di scambio diretta molto popolare tra i giovani. Con ciò si possono scambiare informazioni scritte, immagini e suoni senza troppa difficoltà, basta solamente una connessione a internet. Quindi si può osservare la trasformazione del messaggio che dai disegni dei geroglifici, è passato alle lettere scritte, per poi finire col codice binario dei computer. Una particolarità si è però sviluppata col messaggio informatico, visto che il segnale (della rete soprattutto) viaggiava troppo lentamente e ciò ha portato ad una ulteriore innovazione. Infatti i circuiti interni dei computer si sono evoluti diventando sempre più potenti ed efficaci. Per la rete invece si è passati dal cavo ethernet alle più utili fibre ottiche, cavi molto sottili che propagano il segnale su lunghe distanze in maniera più efficace e veloce.

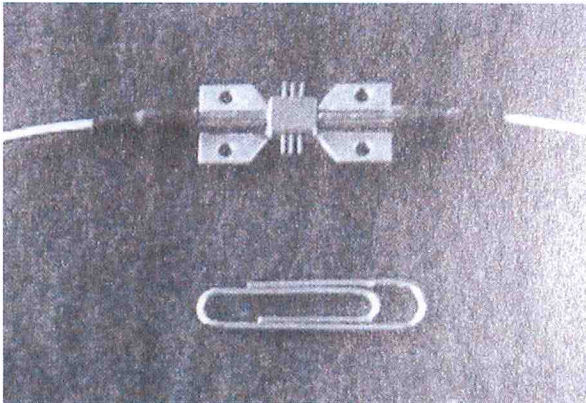


Il trasferimento delle informazioni e quindi la comunicazione è sempre stata una caratteristica importante per chiunque. Si è sempre cercato di migliorare il modo in




cui comunicare, soprattutto le comunicazioni a lunga distanza, fino ad arrivare ad una soluzione semplice, efficace e senza troppe complicazioni: l'ottica integrata.

Quest'ultima garantisce un'elevata rapidità di scambio, un costo molto ridotto, e soprattutto un basso consumo di energia rispetto alle precedenti modalità di comunicazione.



Andiamo a precisare che l'ottica integrata è finalizzata allo studio di rivelatori, modulatori, filtri, sorgenti che hanno una migliore resa se applicati su uno stesso substrato che prende il nome di chip. Ciò porta alla costruzione di circuiti ottici integrati.

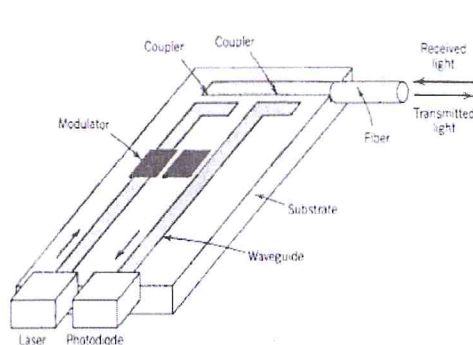
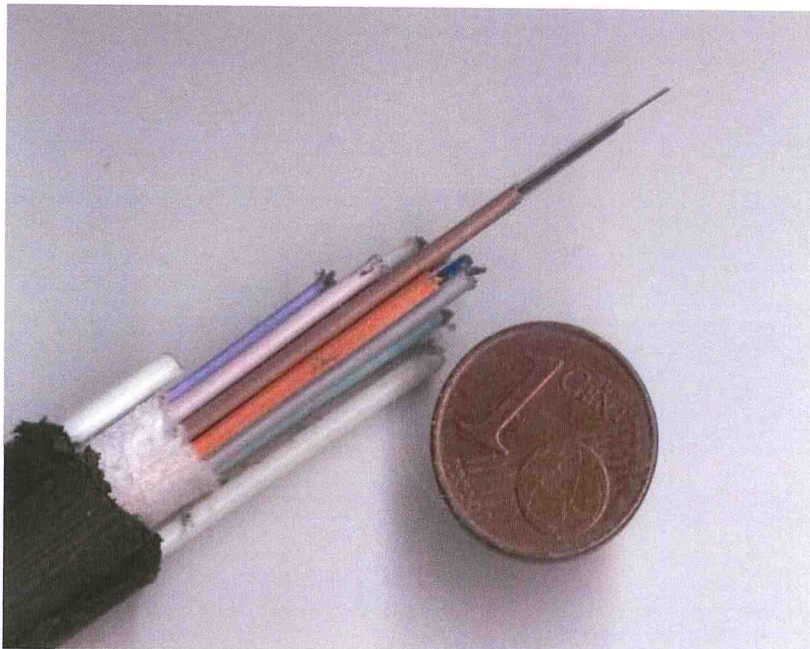


Figure 7.0-2 An example of an integrated-optic device used as an optical receiver/transmitter. Received light is coupled into a waveguide and directed to a photodiode where it is detected. Light from a laser is guided, modulated, and coupled into a fiber.

Tutta questa branca di studi prende il nome di ICT (Information and Communication Technology) e studia le caratteristiche della luce, le sue interazioni con i materiali e la sua propagazione. Quindi molto importante in questa ricerca sono la riflessione totale (propagazione della luce senza alcuna perdita di intensità), la rifrazione (passaggio di un fascio da un mezzo ad un altro), la diffrazione (divisione del fascio luminoso in più fasci), l'interferenza (integrazione tra due fasci di luce) e lo scattering (dispersione di luce).

[Handwritten signature]

Gli elementi fondamentali su cui si basa l'ottica integrata sono le fibre ottiche e le guide d'onda. Le fibre ottiche sono dei "fili" costituite da un nucleo centrale chiamato core avente una circonferenza di 8 micron, da un rivestimento chiamato cladding, e infine da un ulteriore rivestimento isolante. La luce si propaga nel core tramite riflessione totale che avviene solo per particolari angoli.



Le guide d'onda invece sono strutture lineari sopra di un corpo basale (substrato) che propagano la luce, sfruttando le proprietà di rifrazione e riflessione all'interno di esse. Possono essere di due tipi:

- planari, le quali confinano la luce in una sola dimensione;
- canali, le quali confinano la luce in due dimensioni.

Nell'estate scorsa e in quest'ultimo inverno ho preso parte a uno stage riguardante proprio l'ICT e le guide d'onda. Questi stage erano finalizzati rispettivamente alla realizzazione di una guida d'onda planare e di una guida d'onda canale. Insieme ai professori abbiamo sperimentato, oltre ad aver costruito, il funzionamento di queste guide d'onda.

Questo corpo di base è costituito da silicio; a contatto con l'aria si ossida, formando uno strato superiore di ossido di silicio che viene controllato per ottenere un determinato spessore. Nel nostro caso è di 8 micron. Sopra di ciò si costruirà lo strato guidante grazie alla tecnica del sol-gel.

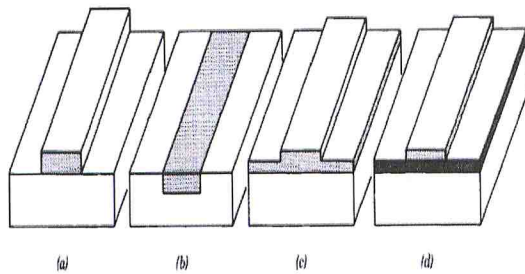


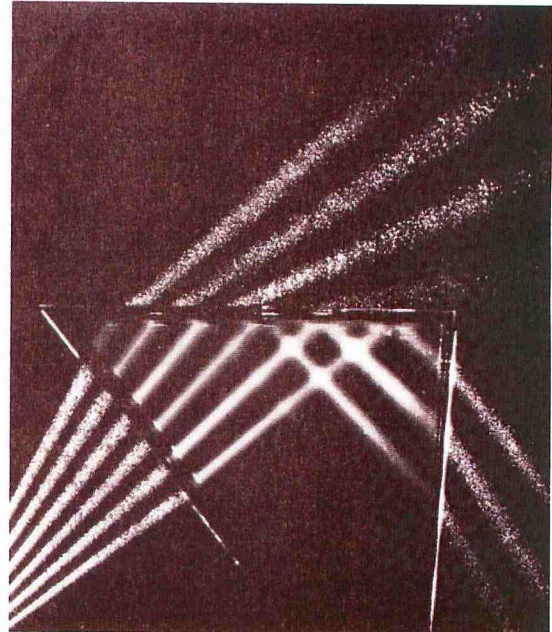
Figure 7.3-3 Various types of waveguide geometries: (a) strip; (b) embedded strip; (c) rib or ridge; (d) strip loaded. The darker the shading, the higher the refractive index.



La tecnica sol-gel permette di costruire un ossido ceramico, partendo da una soluzione di precursori liquidi. Lo strato così ottenuto ha un indice di rifrazione maggiore di quello posseduto dall'ossido di silicio, parametro che permetterà la riflessione totale.

Torniamo però alle proprietà della luce. Come detto pocanzi la luce può propagarsi con alcune proprietà. Le più importanti e che interessano in particolar modo sono la riflessione totale e la rifrazione, tutte e due legate alla legge di Snell. La riflessione totale permette al fascio di non subire attenuazione nella riflessione tra due mezzi lungo una direzione di propagazione. Questo grazie a degli angoli particolari chiamati angoli critici (teta critici). La legge di Snell nella riflessione totale permette di svelare il valore dell'angolo critico. La rifrazione è quando una parte del fascio passa attraverso il mezzo, quindi esso cambierà angolo e avrà una intensità minore. Qui la legge di Snell descrive le modalità di rifrazione di un raggio luminoso nella transizione tra due mezzi con indice di rifrazione (n) diverso.

[Handwritten signatures]



Supponiamo che un fascio di luce proveniente dallo strato con indice di rifrazione n_2 incontri la superficie di separazione con un mezzo di indice n_1 . Se l'indice di rifrazione del mezzo 1 è minore dell'indice di rifrazione del secondo mezzo ($n_1 < n_2$) per particolari angoli superiori all'angolo critico θ (theta) avviene la riflessione totale all'interno del secondo mezzo. Di conseguenza l'angolo critico è quell'angolo d'incidenza oltre il quale avviene la riflessione totale. Questo angolo si può ricavare con la formula $\theta_{critico} = \arccos\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$

La costruzione dello strato guidante tramite tecnica sol-gel avviene in 3 fasi quali idrolisi, condensazione ed essiccamento. La prima porta alla formazione di una sospensione colloidale di particelle in un liquido ed essa prende il nome di SOL. La seconda consiste nel processo di evoluzione in un GEL. La terza ed ultima fase avviene nel forno e porta alla formazione dell'ossido ceramico desiderato.

Per la costruzione finale dello strato guidante importantissimo è il processo fotolitografico, che permette di rimuoverlo in modo selettivo. Fotolitografia significa disegnare con la luce, e sono indispensabili per ciò una maschera e lo strato sensibile alla luce (in questo caso lo strato sol-gel). In questo processo si pone il campione sotto una maschera al quarzo che verrà poi posizionato sotto una lampada UV. Quest'ultima ha il potere di solidificare la struttura chimica dello strato.

[Handwritten signature]

Quindi importante è conoscere il tipo di strato da sottoporre a questo processo. Lo strato prende il nome di resist e può essere di due tipi:

- positivo, dove le zone esposte alla luce UV vengono eliminate con lo sviluppo;
- negativo, dove le zone esposte alla luce solidificano, mentre le rimanenti verranno eliminate con lo sviluppo.

Come si costruisce una guida d'onda canale?

Per la costruzione di una guida canale è necessario ricorrere prima alla deposizione di un film di sol-gel che sia foto-polimerizzabile e di sottoporlo alla tecnica di fotolitografia ottica.

Prima di tutto però bisogna realizzare la soluzione di precursori sol-gel. Questa soluzione è formata da una parte inorganica di precursori del metallo ossidato (TiO_2) e da una parte organica (TMSPM). Queste due andranno a reagire grazie all'unione di una prima soluzione formata da TMSPM, isopropanolo ed acido cloridrico diluito 0,01 M e di una seconda composta di acido acetico glaciale e titania.

La prima soluzione chiamata "soluzione A" contiene il gruppo metacrilato presente nel TMSPM che è il gruppo che verrà "rotto" dalla luce; l'isopropanolo serve per diluire la soluzione; mentre l'acido cloridrico ha la doppia funzione di innescare la reazione e di fungere da catalizzatore per trasformare prima la soluzione in gel. Tutti i tre componenti vengono posti in un becker su di una piastra e mescolati con un magnete rotante.

La seconda soluzione è quella che contiene il titanio e l'acido acetico glaciale. Quest'ultimo funge da catalizzatore ed anche da agente chelante, cioè schermata il titanio dall'aria e non ne permette l'ossidazione diretta.

Si attende qualche minuto e poi si uniscono le due soluzioni coprendole con la carta d'alluminio per non permettere alla luce di compromettere la soluzione. Poi si inserisce un foto iniziatore, più precisamente l'irgacure 184, che rende la nostra soluzione fotosensibile. Si aspetta qualche minuto per poi mettere a sonicare (con ultrasuoni) per solubilizzare più in fretta il foto iniziatore.

Una volta preparata la soluzione sol-gel si procede con la deposizione di quest'ultimo sulla base di silicio ed ossido di silicio. Questo processo avviene tramite spin coating, un macchinario che ruotando velocemente (in questo caso 6000 giri al



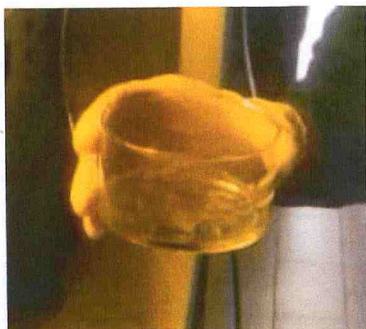
minuto per 30 secondi), permette di deporre uno spessore ridottissimo di soluzione sulla base.



Dopo la deposizione si passa alla fase di foto polimerizzazione che è composta da pre-backing, esposizione, sviluppo e post-backing. Si effettua la prima cottura, chiamata anche prebacking, a circa 80/100°C per 45/60 minuti dove il film condensa. Successivamente avvengono le fasi più importanti di questo processo, quali esposizione e sviluppo. Durante questi due passaggi è necessario usufruire di una maschera di quarzo, rivestita da cromo che presenta dei disegni che verranno impressi sulla guida, di una lampada avente una lunghezza d'onda inferiore ai 400 nm (quindi raggi UV), e di un macchinario chiamato mask aligner che posiziona la maschera in modo opportuno sopra il campione.



Quindi in questo processo viene posta la maschera al di sopra del campione e poi questo complesso è messo sotto la sorgente. Si lascia illuminare per 3/4 minuti e poi si toglie il campione da sotto la maschera e si mette nell'isopropanolo per altri 3/4 minuti. Questa fase di "bagno" nell'isopropanolo è chiamato sviluppo in quanto si elimina dal film la parte non fotopolimerizzata visto che il film/resist è negativo.



Per ultimo passaggio si mette nuovamente il campione nel forno per un'ora a 120°C per consolidare maggiormente il film. Questo è il processo di post-backing.

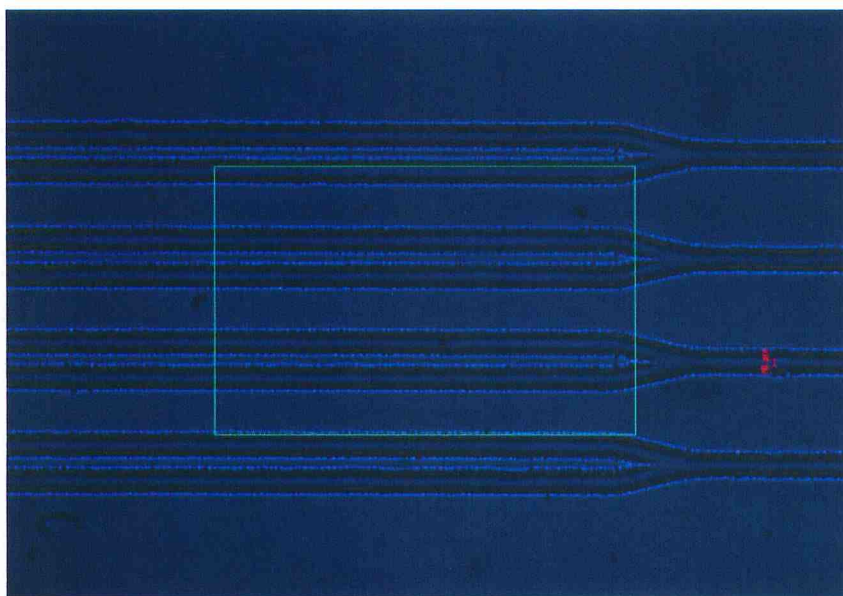
OSSERVAZIONI E COMMENTI

Come ultima tappa si passa all'osservazione del lavoro svolto e ai commenti finali.

Lo scopo della ricerca è quello di costruire una guida d'onda canale che permetta il passaggio della luce da una parte all'altra del campione. Per osservare ciò si utilizza un accurato sistema di lenti, laser e fibre ottiche che sono collegati ad un microscopio ottico.

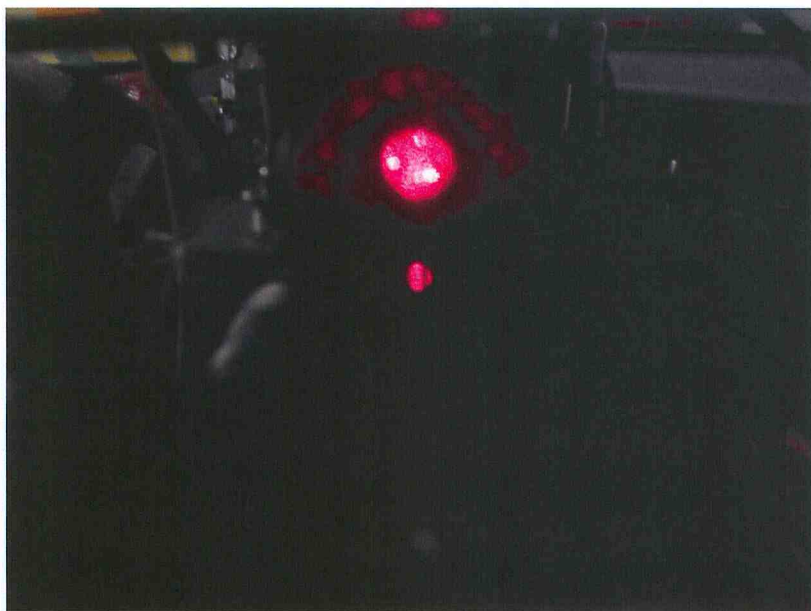


Per osservare la struttura e la grandezza delle guide si utilizza un potente microscopio ottico e un microscopio a forza atomica (AFM). Si osserverà che le guide hanno uno spessore di 10,20,50 nm.



Nonostante tutto si può dire che l'obiettivo è stato raggiunto, come si può osservare nella foto, visto che si può notare il fascio laser entrante (fuori fuoco sullo sfondo) e lo spot uscente dalla guida canale. Lo spot uscente è più tenue in quanto le pareti della guida non erano perfettamente lisce, ma frastagliate e quindi la luce ha subito il fenomeno dello scattering. Questo anche perché si dovrebbe lavorare in una camera pulita, ma visti gli spazi e i tempi con cui si è dovuto lavorare, ciò non è stato possibile. L'unico processo che si è tenuto in camera pulita è stato lo spin coating. La camera era una camera pulita 5000 per piede cubo.

[Handwritten signatures]



SP BL