## TESINA PER L'ESAME DI STATO A.S. 2014/2015

## Dispositivi Ottici per ICT

di Martina Mazzuferi

# L'OTTICA INTEGRATA E IL PROGRESSO CHE HA PORTATO NELLE TELECOMUNICAZIONI

Il presente contributo, elaborato dalla **studentessa Martina Mazzuferi** dell'Istituto di Istruzione Superiore "Via Silvestri" di Roma, è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo "Stage a Tor Vergata" - promosso dal Piano nazionale Lauree Scientifiche e tenuto presso i laboratori della Macroarea di Scienze MFN dell'**Università degli Studi di Roma Tor Vergata** in due fasi:

- Stage Estivo dal 16 al 20 Giugno 2014;
- Stage Invernale dal 2 al 6 febbraio 2015.

Le attività didattiche previste nel Programma dello Stage sono state realizzate in cinque gruppi di ricerca, guidati da docenti dell'Università di Roma Tor Vergata.

Il responsabile scientifico del Modulo "Dispositivi Ottici per ICT"

Dott. Paolo Prosposito

Il Direttore degli "Stage a Tor Vergata"

Prof. Nicola Vittorio

## L'ottica integrata e il progresso che ha portato nelle

## telecomunicazioni

Martina Mazzuferi (studentessa del Liceo Malpighi di Roma)

Comunicare l'un l'altro, scambiarsi informazioni è natura; tenere da conto delle informazioni che ci vengono date è cultura

-Johann Wolfgang Goethe.

Proprio da questa citazione parte la mia voglia di fare tesoro delle informazioni ricevute nelle due settimane di stage nel modulo ICT. La voglia di conoscere, di approfondire e di divulgare questa esperienza mi ha portata a scrivere una tesina sull'importanza che ha oggi la scienza dei materiali, che porta enormi progressi scientifici nel campo dell'ICT.

L'anno duemila nel campo dell'ICT (Information and Comunication Technology) viene considerato un anno di svolta grazie alla costruzione dei primi dispositivi all-optical. I dispositivi all-optical inviano ed elaborano segnali di tipo luminoso i cui dati sono costituiti non da impulsi elettrici, ma da impulsi luminosi. La ricerca scientifica pone l'attenzione su questi tipi particolari di dispositivi in quanto l'ottica integrata rispetto alla elettronica integrata ha maggior vantaggi. Per analizzare i vantaggi possiamo fare un vero e proprio parallelismo tra le caratteristiche dei due diversi segnali.



Elettronica integrata:	Ottica integrata:
il segnale elettrico viene inviato e raccolto attraverso delle piste metalliche;	il segnale luminoso viene     trasmesso grazie a piste dielettriche     (guide d'onda);
2. i segnali elettrici sono limitati dalla frequenza di modulazione e dalle perdite;	2. il segnale luminoso supporta maggiori velocità di trasmissione e ha perdite molto inferiori;
3. il rame è il materiale che costituisce i cavi elettrici, ed è un materiale costoso e pesante.	3. i materiali vetrosi e plastici costituiscono le guide d'onda e sono più economici, più leggeri, non produco un alto consumo di energia e non è presente il fenomeno del cross talk, ovvero dell'interferenza.

#### L'ottica integrata e il suo risvolto ambientale

Grazie a tutte queste caratteristiche le fibre ottiche hanno raggiunto un elevatissimo livello di diffusione soprattutto nel campo delle comunicazioni. Basta pensare che tutte le dorsali principali della rete telefonica e di Internet.

compresi collegamenti intercontinentali sottomarini, sono già in fibra ottica avendo sostituito da tempo il classico cavo coassiale. Vantaggio sottolineare da quello sicuramente riguarda che l'ambiente. L'inquinamento elettromagnetico. comunemente chiamato elettrosmog, deriva da radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti ed è legato alla presenza di campi elettromagnetici artificiali, cioè non attribuibili ad eventi naturali (campi



elettrici generati da fulmini), ma a campi elettrici prodotti per trasmettere informazioni attraverso la propagazione di onde elettromagnetiche (telefonia mobile-impianti radio-tv), dagli elettrodotti, e da tutti i dispositivi funzionanti attraverso la rete elettrica. Con l'uso di fibre ottiche, che trasmettono segnali luminosi ma in esse non circola corrente elettrica, si riuscirebbe a diminuire



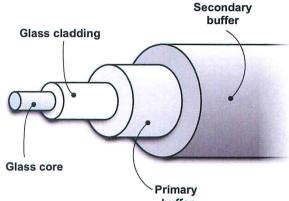
l'inquinamento elettromagnetico.

#### Le fibre ottiche e il loro elemento chiave: la luce.

Le fibre ottiche sono filamenti di materiali vetrosi o polimerici, realizzati in modo da poter condurre al loro interno la luce.

Ogni fibra ottica è composta da :

- Core: nucleo cilindrico centrale, presenta un diametro di circa 10 μm.
- <u>Cladding</u>: mantello attorno al core, presenta un diametro di circa 125 μm, presenta un indice di rifrazione minore rispetto al core.
- <u>Buffer</u>: ha una funzione protettiva.
- <u>Jacket</u>: guaina protettiva polimerica.



I materiali che costituiscono le fibre ottiche sono materiali vetrosi scelti non a caso, ma grazie alle loro caratteristiche quali: trasparenza ottica, elevata durezza, resistenza agli agenti chimici, resistenza riscaldamenti uniformi e graduali, bassa conducibilità elettrica

Ora partiamo dalla definizione di luce e dai principi fisici che regolano la sua propagazione per arrivare poi ad analizzare cio' che avviene all'interno di una fibra ottica.

La luce è:

- 1.un'onda elettromagnetica
- 2. un flusso di energia
- 3. una particella priva di massa ( fotone )

Essendo un'onda elettromagnetica, la luce è soggetta a fenomeni tipici ondulatori, come la rifrazione e la riflessione. La rifrazione è la deviazione subita da un'onda che passa da un mezzo con indice di rifrazione (n<sub>1</sub>) a un mezzo con indice di rifrazione (n<sub>2</sub>). La parte del fascio che attraversa la superficie di



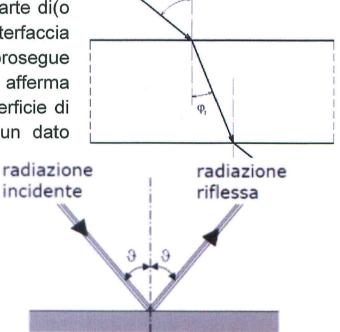
separazione dei due mezzi viene chiamata raggio rifratto e viene deviata dalla direzione di incidenza secondo la legge di Snell:.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{sen\,\theta_r}{sen\,\theta_i}$$

Nel passare da un mezzo con indice di rifrazione minore ad un mezzo con indice di rifrazione maggiore la direzione del fascio si avvicina alla normale e quindi l'angolo diminuisce, nel passare da un mezzo con indice di rifrazione maggiore a uno con indice di rifrazione minore la direzione del fascio si allontana dalla normale e l'angolo aumenta.

La riflessione è il fenomeno per cui una parte di(o tutta) l'onda, che si propaga attraverso l'interfaccia tra differenti mezzi, cambia di direzione e prosegue specularmente. La legge della riflessione afferma che un fascio di luce che incide sulla superficie di separazione tra due diversi mezzi con un dato

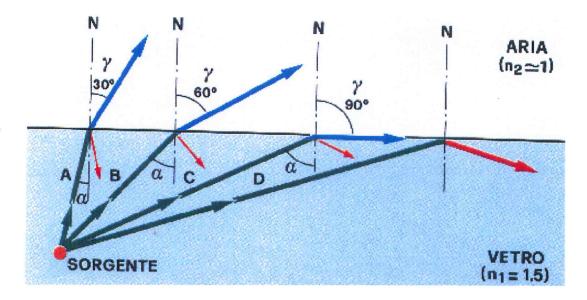
angolo rispetto alla direzione normale al piano di separazione viene riflesso con lo stesso angolo. Quando un fascio luminoso incide sulla separazione di due, una parte viene assorbito, una parte viene riflesso e una parte trasmesso e la legge di conservazione per dell'energia, la somma delle quantità di



energia rispettivamente assorbita, riflessa e trasmessa è uguale alla quantità di energia incidente.



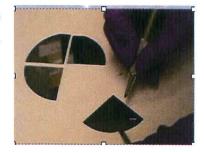
Il fenomeno fisico che avviene all'interno delle fibre ottiche è la riflessione totale. Esiste un valore dell'angolo incidente, angolo critico, per cui secondo la legge di Snell la funzione seno uguaglia il rapporto tra l'indice di rifrazione del secondo mezzo e quello del primo. Ciò comporta che la direzione del raggio rifratto sarà perpendicolare alla normale della superficie di separazione, ovvero parallela alla superficie e quindi non ci sarà fascio rifratto. Abbiamo cioè una riflessione totale.



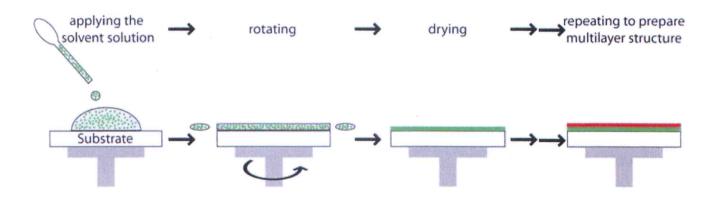
## Le guide planari, il reticolo e le guide d'onda canale

Durante la prima settimana di stage abbiamo avuto l'opportunità di fabbricare delle guide planari, e delle guide canali. Partiamo con l'analisi dei vari passaggi di fabbricazione delle guide planari:

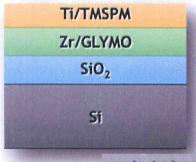
 Preparazione dei substrati: abbiamo tagliato delle lamine di silicio con già depositato SiO₂ con l'aiuto di una punta di diamante.

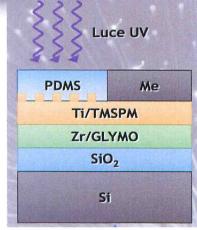


2. Spin coating Zr/GLYMO: entrati nella camera pulita abbiamo depositato sul nostro substrato il film, ovvero una soluzione sol-gel che viene prodotta attraverso le tre fasi (idrolisi: formazione di una sospensione colloidale di particelle solide nel liquido, il Sol, condensazione: processo di evoluzione in un gel, essiccamento: trattamenti termici di trasformazione in un materiale ibrido organico-inorganico).



- 3. Densificazione a 120 gradi per 60 min: abbiamo fatto solidificare il nostro film.
- Spin coating Ti/TMSPM: abbiamo depositato un'altra soluzione sol-gel.
- 5. Pre-backing: abbiamo fatto solidificare la nostra soluzione.
- 6. UV nanoimprinting: abbiamo depositato il reticolo di Bragg su una parte della guida e l'abbiamo esposta alla luce UV (processo di fotopolimerizzazione).
- 7. Bagno in IPA: abbiamo immerso la guida





nell'alcol isopropilico, quindi rimosso la parte non fotopolimeralizzata.

8. Hard-backing: ultima fase



di cottura.

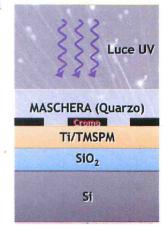
Proseguiamo con l'analisi della fabbricazione della guida canale soffermandoci però solo sul secondo e sul quarto passaggio, poiché gli altri sono similari a quelli precedenti:

- 1. Preparazione substrati
- 2. Spin coating Ti/TMSPM: abbiamo depositato la nostra soluzione sol-gel direttamente sul substrato.
- 3. Pre-backing



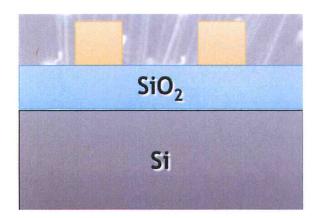
4. Fotolitografia: abbiamo depositato una maschera di quarzo e cromo sopra

il nostro film e abbiamo esposto la guida alla luce UV



5. Bagno in IPA: abbiamo immerso la guida nell'alcol isopropilico, quindi rimosso la parte fotopolimeralizzata.

#### 6. Hard-backing.

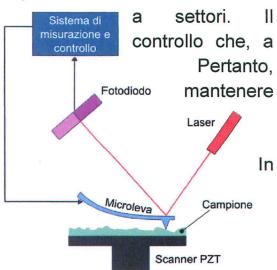


Sempre durante la prima settimana di stage abbiamo anche caratterizzato il passo del reticolo della nostra guida d'onda planare e la nostra guida canale. Il passo è stato caratterizzato attraverso il microscopio ottico e attraverso il fenomeno fisico della diffrazione. Per la caratterizzazione della guida canale abbiamo acquisito delle immagini del nostro campione e della maschera sempre attraverso il microscopio ottico e poi confrontate.

#### Il microscopio a forza atomica e l'analisi delle immagini ottenute da esso

In un microscopio a forza atomica il campione viene posto su uno scanner piezoelettrico, ovvero capace di generare una deformazione meccanica proporzionale alla tensione applicata, in grado quindi di muovere il campione lungo le direzioni x,y,z. La punta viene messa in contatto con il campione, cosicché ogni asperità della superficie durante la scansione x,y si traduce in una deflessione della microleva. Questa è rilevata da un sistema ottico composto di un piccolo laser che emette un fascio di luce che, riflesso dall'estremità mobile

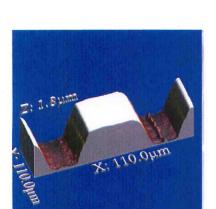
della microleva, viene rivelato da un fotodiodo fotodiodo è collegato ad una elettronica di sua volta, controlla la posizione dello scanner. mediante un sistema retroregolato si può costante la deflessione tra la microleva e il campione muovendo verticalmente (z) lo scanner ad ogni punto (x,y) della scansione. questo modo la forza tra punta e campione



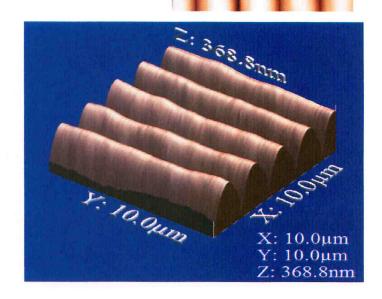
rimane costante. La posizione z dello scanner viene registrata in funzione della posizione ed è in questo modo che si ricostruisce l'immagine della topografia della superficie.

Durante la seconda settimana di stage abbiamo caratterizzato il reticolo e le guide d'onda canali partendo dall'acquisizione di immagini dal microscopio AFM

ottenute in modalità "tapping" e successivamente elaborate con un particolare programma chiamato WSxM.



Guida canale



#### Reticolo

## L'inserzione di luce in guida d'onda

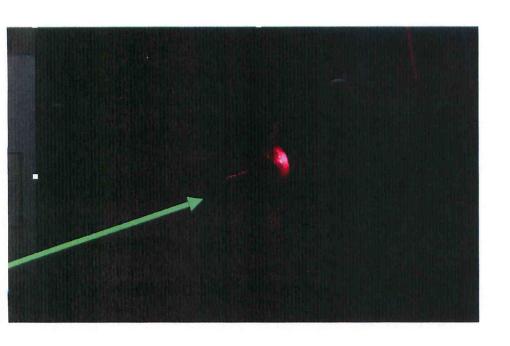
Si è parlato di come la luce si propaga all'interno della guida d'onda, ma non di come viene inserita in essa. Come il raggio entra nel mezzo a indice maggiore così esso potrà uscire quando incontrerà l'interfaccia opposta verso il mezzo a indice inferiore. Un modo per far entrare la luce in guida è quello dell'accoppiamento laterale che è alquanto difficoltoso nel caso di guide d'onda,

come le nostre, di spessore pari o inferiore a un micrometro. Sempre nella seconda settimana di stage abbiamo inserito e osservato l'inserzione della luce in guida. Per riuscire ad inserire la luce abbiamo posizionato la guida d'onda su

un sistema di movimenti micrometrici che permette di effettuare spostamenti con precisioni molto elevate. L'allineamento del fascio focalizzato sull'ingresso della guida d'onda canale è stato effettuato monitorando con il microscopio la zona di incidenza della luce e muovendo lo spot con i movimenti micrometrici fino ad ottimizzazione. Così siamo riusciti ad inserire la luce in guida e ad



osservare l'uscita del fascio guidato attraverso il canale.



**Bibliografia**: Catena, Berrilli, Davoli, Prosposito: STUDENTI-RICERCATORI per cinque giorni.

Sitografia: <a href="http://it.wikipedia.org/wiki/riflessione">http://it.wikipedia.org/wiki/rifrazione</a>

Altro: Power-point stage estivo e invernale.