TESINA PER L'ESAME DI STATO A.S. 2012/2013

ICT (Information and Communication Technology)

di Federico De Santis

LUCE A DISTANZE SPAZIALI E TERRESTRI: LA COMUNICAZIONE ATTRAVERSO UN'ONDA

Il presente contributo, elaborato dallo studente Federico De Santis del Liceo Scientifico e Linguistico di Ceccano (FR), è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo "Stage a Tor Vergata", promosso dal 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 18 al 22 giugno 2012;

Stage Invernale dal 4 al 8 febbraio 2013.

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 "Materiali per l'ICT (Information and Communication Technology)"

Dott. Paolo Prosposito

Dott. Fabio De Matteis

Il Direttore degli "Stage a Tor Vergata"

Prof. Nicola Vittorio

Esame di Stato

A.S. 2012/2013

De Santis Federico, VC.

Luce a distanze spaziali e terrestri: la comunicazione attraverso un'onda.

"Era come se nello spazio che conteneva tutte le galassie, l'immagine di ciò che avevo fatto quel giorno si proiettasse all'interno d'una sfera che si dilatava continuamente alla velocità della luce: gli osservatori dei corpi celesti, che via via si trovavano entro il raggio della sfera, venivano messi in grado di vedere quel che era successo. A loro volta ognuno di questi osservatori poteva esser considerato al centro di una sfera che si dilatava anch'essa alla velocità della luce proiettando la scritta TI HO VISTO dei loro cartelli tutt'intorno. Nello stesso tempo tutti questi corpi celesti facevano parte di galassie che si allontanavano l'una dall'altra nello spazio con velocità proporzionale alla distanza, e ogni osservatore che dava segno d'aver ricevuto un messaggio, prima di poter riceverne un secondo s'era già allontanato nello spazio a una velocità sempre maggiore. A un certo punto le più lontane galassie che m'avevano visto (o che avevano visto il cartello TI HO VISTO d'una galassia più vicina a noi, o il cartello HO VISTO IL TI HO VISTO di una un po'più in là) sarebbero giunte alla soglia dei dieci miliardi d'anni-luce, passata la quale si sarebbero allontanate a 300'000 chilometri al secondo, cioè più veloci della luce, e nessuna immagine avrebbe potuto più raggiungerle. C'era quindi il rischio che restassero con la loro provvisoria opinione sbagliata su di me, che da quel momento sarebbe divenuta definitiva, non più rettificabile, inappellabile, e perciò, in un certo senso, giusta, cioè corrispondente a verità."

(I. Calvino, Cosmicomiche vecchie e nuove, Garzanti, Milano 1984, p.p.190-191)

Nel racconto "Gli anni luce", tratto dalle Cosmicomiche di Italo Calvino, il protagonista Qfwfq, osservando il cielo con il telescopio e interrogandosi sulle distanze galattiche, pone un interessante problema: la comunicazione e i disagi e i fraintendimenti che le distanze, il tempo e lo spazio causano all'uomo. L'autore, attraverso il punto di vista di questo curioso e multiforme personaggio che osserva e commenta la realtà cercando delle risposte razionali all'interno di quel mondo immaginario e caotico (specchio del labirinto della vita reale), riflette sulle

problematiche che spesso affliggono i rapporti interpersonali fra gli uomini: la conflittualità, l'incomprensione, il giudizio degli altri e la volontà di far apparire la parte migliore di sé. Infatti Qfwfq è ossessionato dal giudizio degli ipotetici abitanti delle altre galassie che osservavano il suo passato, ma poi è consolato dal fatto che il costante moto di recessione delle galassie porterà i suoi osservatori al di fuori del limite del visibile. Seguendo così la teoria di un universo in espansione, Calvino permette di riflettere su un altro importante tema: la funzione della luce come messaggera dell'universo, che, conservando una cronistoria visiva dei fatti, fornisce agli uomini un'immagine dell'universo appartenente ad un passato, tanto più remoto quanto più distante è il punto di provenienza. La luce, intesa in senso lato (comprendente sia lo spettro del visibile che le altre lunghezze d'onda), è perciò fondamentale per la conoscenza e la datazione dell'universo: si pensi alla radiazione cosmica di fondo, prova a sostegno della teoria del big bang, oppure all'importanza dello spettro di assorbimento delle stelle che permette di capire la loro composizione, temperatura ed evoluzione.

Se a distanze galattiche la luce, a causa della sua velocità finita, poneva dei disagi a livello di comunicazione, come nella trasposizione "cosmicomica" di Calvino, a distanze terrestri la stessa luce offre dei grandi vantaggi. Oggi essa può essere usata per trasferire informazioni in maniera rapida ed efficiente: un esempio è la possibilità di confinare un segnale luminoso all'interno di un materiale cosiddetto "guidante" e di poter poi interpretare il segnale ottico e convertirlo in segnale elettrico, in modo tale da renderlo compatibile con i nostri dispositivi di comunicazione. Su questo principio si fonda la fibra ottica, base delle telecomunicazioni via cavo ad alta velocità (internet, telefono, televisione via cavo ecc.). La disciplina che si occupa di questa integrazione fra ottica e elettronica è l'optoelettronica (o ottica integrata) e, nello stage universitario, ho potuto studiare e produrre in laboratorio alcuni materiali che permettono la propagazione guidata della luce.

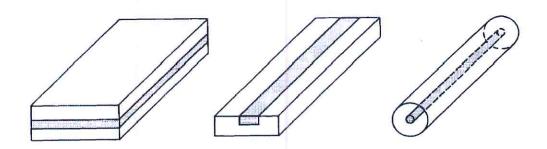
L'attività di riferimento è il progetto didattico nazionale "Stage a Tor Vergata" organizzato dal MIUR in collaborazione con l'Università di Tor Vergata, con l'obiettivo di promuovere l'interesse nei confronti delle lauree scientifiche da parte dei giovani diplomandi. Così ho avuto l'occasione di frequentare i laboratori di fisica, di poter conoscere, vedere e sperimentare in prima persona come un vero ricercatore. Il modulo didattico frequentato (Materiali per ICT: Information and Communication Technology) riguardava lo studio di nuovi materiali per l'ottica integrata, e apparteneva al corso di laurea in "Scienze dei materiali", una scienza recente e poco conosciuta, trasversale alla fisica, alla chimica e all'ingegneria: essa studia e realizza, a partire dagli elementi chimici presenti in natura, materiali innovativi da utilizzare nei più disparati settori. Inoltre, avvalendosi delle nanotecnologie, essa valuta come le modifiche a livello molecolare e atomico di una sostanza possano conferire proprietà meccaniche e tecnologiche diverse al Ecco, ad esempio, che il silicio presente nella sabbia (sotto forma di materiale. silice) è diventato l'elemento fondamentale per i circuiti integrati presenti in ogni dispositivo elettronico e di comunicazione.

Nello specifico, lavorando in collaborazione con i ricercatori e docenti universitari all'interno del laboratorio NeMo (New Materials for Optoelectronics), abbiamo realizzato e poi caratterizzato prima delle guide d'onda planari (prima fase dello stage, svoltasi nel giugno del 2012) e poi canali (seconda fase, svoltasi nel febbraio del 2013).

La guida d'onda è una struttura, composta da un materiale plastico o vetroso, capace di confinare al proprio interno una radiazione elettromagnetica (la luce), ottenendo una propagazione guidata del segnale luminoso attraverso la riflessione totale.

Questo è il fenomeno ottico per cui la luce, propagandosi da un mezzo ad indice di rifrazione maggiore ad uno ad indice di rifrazione minore e attraversando la superficie di separazione fra i due mezzi, non genera alcun raggio rifratto, ma viene totalmente riflessa dalla superficie (il raggio incidente colpisce l'interfaccia con un angolo superiore all'angolo limite individuato tramite la legge di Snell).

Una guida d'onda planare può confinare la luce in un'unica dimensione(su tutta la superficie, senza delimitare un percorso netto), mentre la guida d'onda canale confina la luce in un determinato percorso, e può presentarsi sotto diverse configurazioni.



1 Guida planare

2 Guida canale

3 Fibra ottica

Realizzazione di una guida d'onda planare.

La guida d'onda è stata costruita su un substrato di silicio. Un materiale semiconduttore che permette l'integrabilità della stessa con l'elettronica.

- Partendo da un wafer di silicio cristallino di diametro di circa 20 cm, ricoperto da uno strato di SiO₂ (riduce l'indice di rifrazione dal valore 3,3 al valore 1,46), abbiamo tagliato il wafer in una serie di campione di circa 2x2 cm².
- Dopo un accurato lavoro di <u>pulizia</u> dei campioni, siamo passati alla preparazione della soluzione necessaria alla produzione del vetro (la vera e propria guida). La tecnica utilizzata è quella SOL-GEL: creazione a bassa temperatura del vetro attraverso differenti fasi (deposizione, polimerizzazione e essiccamento). Tale procedimento permette la realizzazione di vetri ibridi formati da una componente inorganica (precursore), lo Zirconio, e una componente organica, il GLYMO, che conferisce al vetro migliori proprietà ottiche e meccaniche: trasparenza, flessibilità e resistenza.
- Dopo una breve fase di **stirring**, (mescolamento tramite ultrasuoni) è avvenuta la deposizione della soluzione sopra il substrato di silicio, all'interno di una <u>camera bianca o pulita</u> (classe 10000, ovvero un massimo10000 particelle di polvere da 0,5 μ m ogni piede cubo), che consente di lavorare in

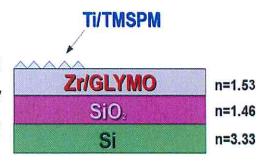
un ambiente dove la quantità di polvere è bassa e quindi permette di realizzare campioni migliori. La polvere infatti si potrebbe depositare fra substrato e guida generando notevoli imperfezioni. Poi con la tecnica dello **spinning** (rotazione ad alta velocità di un campione) si forma un sottilissimo strato di soluzione (**film**), che successivamente verrà solidificato mediante una fase di riscaldamento in forno (**baking**).

Realizzato lo strato guidante, per incanalare la luce nella guida è stato necessario costruire un **reticolo di diffrazione** formato da un altro composto ibrido a base di Titanio: Ti/TMSPM. Il reticolo è un dispositivo ottico costituito da una serie di scanalature equidistanti di dato passo (nel nostro caso 1µm e 2µm) ed è necessario per poter inserire la luce dentro la guida canale, poiché consente di entrare nel mezzo guidante con un opportuno angolo (maggiore dell'angolo critico) che altrimenti sarebbe impossibile da realizzare. Il reticolo serve anche per separare il raggio incidente di una luce monocromatica in tanti raggi di diffrazione (ordini) ad angolazioni costanti che dipendono dalla lunghezza d'onda della luce e dal passo del reticolo.

La produzione del reticolo è stata attuata tramite fotolitografia:

- utilizzando una serie di reticoli campione (MASTER), abbiamo creato uno stampo
 (MOLD) fatto di un elastomero PDMS (simile al silicone);
- sui campioni composti di silicio e zirconio/GLYMO abbiamo deposto, tramite spinning, uno strato di Ti/TMSPM con IRGAGURE in soluzione, una **sostanza fotopolimerizzabile:** in presenza di luce ultravioletta facilita la polimerizzazione del vetro SOL-GEL;
- abbiamo impresso il MOLD sullo strato di Ti/TMSPM esponendo i campioni alla luce UV per un tempo fissato (circa 30 secondi);
- -infine abbiamo provveduto ad un bagno in alcool isopropilico, per eliminare la parte di soluzione non polimerizzata, e ad una fase di post-baking per completare la solidificazione.

Il risultato finale è quello nella figura a fianco, dove si vedono i tre strati del campione di cui solo lo Zr/GLYMO è quello guidante, infatti ha un indice di rifrazione maggiore rispetto a quelli circostanti.



Caratterizzazione e verifica delle guide.

Dopo aver costruito la guida, studiato e compreso le basi teoriche del suo funzionamento, l'esperienza di stage laboratoriale si è conclusa con la verifica dei campioni prodotti. Abbiamo caratterizzato le guide al microscopio valutando la fedeltà di riproduzione della replica rispetto al reticolo MASTER e poi abbiamo provato l'inserzione della luce in guida.

Per quanto riguarda l'analisi microscopica, abbiamo usato prima un microscopio ottico, che ci ha permesso di osservare in tempo reale il passo del reticolo originale e della replica, e di poter valutare le numerose imperfezioni sintomo della nostra (giustificata) imprecisione da inesperti sperimentatori. In un secondo momento, abbiamo usato un avanzato microscopio AFM (Atomic Force Microscopy, a forza atomica) che, attraverso la misurazione delle minime variazioni di oscillazione di una punta microscopica (collegata a un'asticella, il cantilever) che scorre sopra la superficie del materiale (per contatto diretto o per oscillazioni continue, TAPPING), riesce a definire con grande precisione (risoluzione di 10 Angstrom) una limitata sezione della superficie del campione.

Elaborando i risultati al computer, abbiamo ottenuto le seguenti immagini:

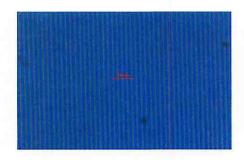
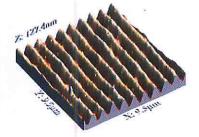
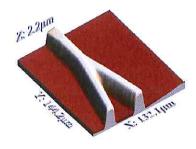


Immagine del campione ottenuta tramite microscopio ottico, con relativa misura del passo reticolare.





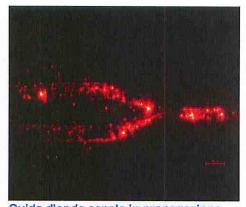
Immagini di campioni ottenute tramite microscopio AFM (rielaborate al computer):

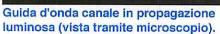
1 Guida planare, con reticolo in superficie

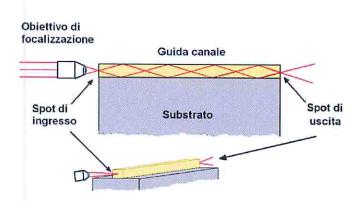
2 Guida canale (beam splitter)

Infine, la prova d'inserzione della luce di un laser (monocromatico) puntato sul reticolo della guida planare, la quale era posta in un holder (supporto) rotante e graduato, ha dato esito positivo. Ci ha mostrato in maniera tangibile come, ruotando il supporto e cambiando l'angolo d'incidenza della luce, solo a determinate angolazioni (superiori all'angolo limite) si riesce ad ottenere la riflessione totale e la propagazione della luce nella guida planare, osservabile mediante la fuoriuscita di uno spot di luce dal bordo laterale del campione.

Meno immediato invece è osservare il funzionamento della guida canale, costruita







nella seconda fase dello stage con tecniche analoghe. Essa è priva di reticolo. In questo caso la luce viene inserita attraverso un sistema di lenti (obiettivo da microscopio), sulla superficie laterale della guida e allineata con l'ausilio di un microscopio e di movimenti micrometrici estremamente precisi. Dopo l'accoppiamento della luce nella guida canale uno spot luminoso sarà visibile alla fine della guida canale e anche la guida stessa risulterà illuminata come mostrato nella figura sottostante dove è visibile un divisore di fascio (beam splitter) al 50%.