TESINA PER L'ESAME DI STATO
A.S. 2011/12

ICT:
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

FIBRE OTTICHE E GUIDE D'ONDA

Di: *Francesca Casaburi*

Il presente contributo, elaborato dalla studentessa **Francesca CASABURI** del Liceo "L. Stefanini" di Mestre (VE), 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 Prosposito _____

Il Direttore degli Stage a Tor Vergata

Prof. Nicola Vittorio _____

Licei Statali "L. Stefanini"
30173 venezia mestre - via del miglio, 30 - tel. 041611574 - fax 0415344159
info@liceistefanini.it www.liceistefanini.it - distretto 37 - cod. fisc. 90067670274 - c.m. vepm02000g

SINCERT
SQQ CERTIFICATO UNI EN ISO 9001
MOODY INTERNATIONAL
n° 0714834

ESAMI DI STATO 2012

Titolo dell'area di progetto:
MUSEO DELLE SCIENZE AMBIENTALI

Approfondimento personale:
FIBRE OTTICHE E GUIDE D'ONDA

Classe 5 TA

Candidato
Francesca Casaburi

INDICE

1. INTRODUZIONE 2

2. IN COSA CONSISTE L'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO? 3
Inquinamento elettromagnetico 3
La rifrazione 3
La riflessione 3

3. LA FIBRA OTTICA 5
Costituzione 5
Composizione 5
Funzionamento 5
L'uso nelle telecomunicazioni 6

4. LA GUIDA D'ONDA 7
Ottica in guida d'onda 7
Costruzione 8
Com'è fatta 8
Fotolitografia ottica 9

5. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 11

1. INTRODUZIONE

Ho scelto di approfondire questo argomento sulle fibre ottiche e le guide d'onda in seguito all'esperienza di stage vissuta all'università a Roma a Tor Vergata, durante la quale ho studiato e costruito una guida ottica.
Ritengo importante conoscere il funzionamento, la composizione e l'uso delle guide e fibre ottiche, che oggi sono usate soprattutto nella telecomunicazione.
Nel corso della storia, sin dall'antichità, un'esigenza fondamentale degli esseri umani è stata quella di ideare sistemi di comunicazione per inviare messaggi o informazioni tra luoghi distanti.
Un qualsiasi sistema di comunicazione è costituito da un canale di trasmissione che connette la sorgente alla stazione ricevente. Questi tipi di sistemi di comunicazione, generati mediante codifica dell'informazione su onde elettromagnetiche, sono da tempo utilizzati per la trasmissione dati; le onde radio, le microonde, le onde luminose e la più comune luce sono tutte onde elettromagnetiche, dette anche radiazioni elettromagnetiche. Tuttavia la trasmissione dati mediante queste onde elettromagnetiche, direttamente in atmosfera, presenta degli inconvenienti quali l'assorbimento legato a fenomeni atmosferici, come pioggia, nebbia, neve e polveri inquinanti che possono alterare la trasmissione dati. Anche se questo tipo di uso è ancora presente in vari settori della tecnologia, ha preso il sopravvento l'utilizzo di strumenti più adatti alla trasmissione di informazioni tramite segnale luminoso, tra i quali le fibre ottiche che, come vedremo, possiedono evidenti vantaggi rispetto ai cavi in rame comunemente usati. L'importanza di queste è a dir poco enorme e costituisce una vera e propria rivoluzione tecnologica nel campo delle telecomunicazioni.

2. IN COSA CONSISTE L'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO?

Quando si parla di inquinamento, generalmente ci si riferisce a sostanze già presenti in natura che, a causa dell'attività dell'uomo, aumentano sino ad alterare completamente tutti gli equilibri naturali. L'elettricità è uno degli elementi che esiste in natura e la cui presenza, dal dopoguerra in avanti, è fortemente aumentata sul nostro pianeta a causa, soprattutto, degli impianti di trasmissione radio e televisiva. L'inquinamento elettromagnetico deriva da radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, quali quelle prodotte dalle infrastrutture di telecomunicazioni come la radiodiffusione e la telediffusione (emittenti radiofoniche e televisive), ponti radio, reti per telefonia cellulare, dagli stessi telefoni cellulari, dagli apparati wireless utilizzati soprattutto in ambito informatico (campi elettromagnetici ad alta frequenza) e dalle infrastrutture di trasporto dell'energia elettrica tramite cavi elettrici percorsi da correnti alternate di forte intensità, come gli elettrodotti della rete elettrica di distribuzione (campi elettromagnetici a bassa frequenza). Per questo sarebbe vantaggioso riuscire ad usare le fibre ottiche per diminuire l'inquinamento elettromagnetico, infatti in esse non circola corrente elettrica.

Per riuscire a spiegare il funzionamento delle fibre ottiche bisogna partire dalla definizione di luce. La luce è:

- Un'onda elettromagnetica
- Un flusso di energia
- Una particella priva di massa (fotone)

↓

Spieghiamo cos'è un'onda elettromagnetica servendoci del campo elettromagnetico:
in fisica, il campo elettromagnetico è un campo generato nello spazio dalla presenza di cariche elettriche, e può manifestarsi anche in assenza di esse, trattandosi di un'entità fisica che può essere definita indipendentemente dalle sorgenti che l'hanno generata. Si propaga per mezzo della radiazione elettromagnetica, un fenomeno ondulatorio che non richiede alcun supporto materiale per diffondersi nello spazio, e che nel vuoto viaggia alla velocità della luce.
Il campo elettromagnetico è dato dalla combinazione del campo elettrico e del campo magnetico: il campo elettrico è una grandezza fisica vettoriale che caratterizza i punti dello spazio vicino ad una distribuzione di cariche elettriche, mentre il campo magnetico è un campo vettoriale generato da cariche in moto. Il campo elettromagnetico si propaga dunque sotto forma di onde elettromagnetiche; in particolare si hanno due tipologie di propagazione: la propagazione nello spazio libero (o in mezzi tenui) come quello atmosferico e la propagazione guidata in mezzi guidanti, come le guide d'onda. Un'onda elettromagnetica è soggetta a fenomeni tipici ondulatori, quali la riflessione e la rifrazione, quando il raggio di luce si sposta da un mezzo con un proprio indice di rifrazione n1 verso un secondo mezzo con indice di rifrazione n2 ($n1<n2$).

La rifrazione è la deviazione subita da un'onda che passa da un mezzo con un indice di rifrazione (n2) ad un mezzo con un indice di rifrazione (n1). Sul bordo dei due mezzi la velocità di fase dell'onda è modificata, cambia direzione, e la sua lunghezza d'onda è aumentata o diminuita mentre la sua frequenza rimane costante.

La riflessione è il fenomeno per cui un'onda, che si propaga attraverso l'interfaccia tra differenti mezzi, cambia di direzione a causa della differenza dell'indice di rifrazione delle due sostanze. Quando l'energia radiante incide su un corpo, una parte viene assorbita, una parte viene riflessa e una parte viene trasmessa. Per la legge di conservazione dell'energia, la somma delle quantità di energia rispettivamente assorbita, riflessa e trasmessa, è uguale alla quantità di energia incidente.

La riflessione di onde elettromagnetiche è regolata da due leggi fondamentali, ricavabili dal principio di Fermat e da quello di Huygens-Fresnel:

- Il raggio incidente, il raggio riflesso e la normale al piano nel punto di incidenza giacciono sullo stesso piano;
- L'angolo di incidenza (i) e l'angolo di riflessione (r) sono uguali.

i = angolo di incidenza

r = angolo di riflessione → i = r t < i t < r

t = angolo di rifrazione

Quando l'indice di rifrazione del mezzo da cui proviene il fascio è maggiore dell'indice di rifrazione dell'altro mezzo, il raggio rifratto forma un angolo maggiore di quello del raggio incidente (t > i) e, ad un certo valore dell'angolo di incidenza i, l'angolo di rifrazione t sarà pari a 90° (grado massimo). Se il raggio incidente forma un angolo di incidenza maggiore dell'angolo di rifrazione, e si supera il valore dell'angolo limite (detto anche angolo critico), tutta la luce si riflette nel mezzo di provenienza, e avviene il fenomeno della riflessione totale.

Questi fenomeni avvengono all'interno delle Fibre Ottiche. Queste sono filamenti di materiali vetrosi o polimerici, realizzati in modo da poter condurre al loro interno la luce. Hanno raggiunto un elevatissimo livello di diffusione soprattutto nel campo delle comunicazioni.
Le fibre ottiche sono dei cavi flessibili, immuni ai disturbi elettrici ed alle condizioni atmosferiche estreme, e poco sensibili a variazioni di temperatura.

Fibre Ottica

3. LA FIBRA OTTICA

Costituzione

Ogni singola fibra ottica è composta da due strati concentrici di materiale trasparente estremamente puro: un nucleo cilindrico centrale, o *core*, ed un mantello o *cladding* attorno ad esso. Il core presenta un diametro molto piccolo di circa 10 µm, mentre il cladding ha un diametro di circa 125 µm. I due strati sono realizzati con materiali con indice di rifrazione leggermente diverso, il cladding deve avere un indice di rifrazione minore rispetto al core. Come ulteriore caratteristica il mantello deve avere uno spessore maggiore della lunghezza di smorzamento dell'onda evanescente.
La fibra ottica funziona come una specie di specchio tubolare. La luce che entra nel core ad un certo angolo (angolo limite) si propaga mediante una serie di riflessioni alla superficie di separazione fra i due materiali del core e del cladding.
All'esterno della fibra vi è una guaina protettiva polimerica (jacket) che serve da protezione e a dare resistenza agli stress fisici e alla corrosione, ed evitare il contatto tra la fibra e l'ambiente esterno.
Il core e il cladding della fibra ottica possono essere realizzati in silice oppure in polimeri plastici.

Composizione

All'interno delle fibre ottiche sono presenti materiali vetrosi, scelti per:

- Elevata trasparenza nella regione spettrale del visibile e durezza (5-7 nella scala di Mohs).
- Resistenza agli agenti chimici con l'esclusione dell'acido fluoridrico che aggredisce la silice.
- Indice di rifrazione 1,5-1,8 con specifici valori per ogni tipo di vetro.
- Capacità di sopportazione a riscaldamenti uniformi e graduali.
- Caratteristiche di bassa conducibilità elettrica e termica.

Per questo i vetri sono alla base delle fibre ottiche.

Funzionamento

Nelle fibre ottiche avviene un fenomeno di riflessione totale interna, perciò la discontinuità dell'indice di rifrazione tra i materiali del nucleo e del mantello intrappola la radiazione luminosa.

Nella figura due raggi luminosi incidono sull'interfaccia tra nucleo e mantello all'interno della fibra ottica. Il fascio a incide con un angolo θ_a *superiore* all'angolo critico di riflessione totale e rimane intrappolato nel nucleo; il fascio b incide con un angolo θ_b *inferiore* all'angolo critico e viene rifratto nel mantello e quindi perso (onda evanescente). Nella rifrazione l'angolo critico (noto anche come angolo limite) è quell'angolo di incidenza oltre il quale si ottiene una riflessione interna totale.

L'uso nelle telecomunicazioni

Le fibre ottiche che sono già elementi essenziali nell'industria delle telecomunicazioni e delle relative comunicazioni ottiche, sono ancora in corso di ulteriore evoluzione tecnologica.
Tutte le linee logiche principali della rete telefonica e di Internet, compresi i collegamenti intercontinentali sottomarini, sono già in fibra ottica, avendo sostituito da tempo il classico cavo coassiale.
Le comunicazioni in fibra ottica sono l'insieme delle tecniche finalizzate a trasmettere informazioni da un luogo ad un altro attraverso la propagazione di segnali ottici (luce) in una fibra ottica come mezzo trasmissivo.
I principali vantaggi delle fibre rispetto ai cavi in rame nelle telecomunicazioni sono:

- bassa perdita di energia, che rende possibile la trasmissione su lunga distanza senza ripetitori;
- grande capacità di trasporto di informazione o velocità di trasmissione;
- immunità da interferenze elettromagnetiche (la luce, infatti, rimane confinata in fibra, non si disperde all'esterno creando interferenza);
- peso e ingombro modesto;
- buona flessibilità;
- ottima resistenza a condizioni climatiche avverse;
- basso consumo d'energia perché non c'è corrente che fluisce all'interno.

Un cavo di fibra ottica, che contiene più fibre, è solitamente molto più piccolo e leggero di un filo o cavo coassiale con simili capacità di canale. È più facile da maneggiare e da installare.

Cavo composto da più fibre ottiche

4. LA GUIDA D'ONDA

Una guida d'onda è una struttura lineare che conduce fasci di luce all'interno di un percorso compreso fra le due estremità, consentendone così una propagazione guidata.

Figure 7.0-1 Optical waveguides: (*a*) slab; (*b*) strip; (*c*) fiber.

Ottica in guida d'onda

Si può intuitivamente pensare che il campo elettromagnetico sia confinato attraverso la "riflessione" sulle pareti della guida d'onda, causata dalla differenza dell' indice di rifrazione dei due mezzi.
In ottica integrata, la guida d'onda rappresenta l'elemento di base che viene combinato per ottenere funzioni più complesse.
Esistono diverse tecnologie che si differenziano principalmente in base al substrato utilizzato ed alla tecnica usata per ottenere l'innalzamento locale di indice di rifrazione. Inoltre:

- L'ottica in guida d'onda è utile per la trasmissione di luce a lunga distanza ed ha importanti applicazioni nel campo dell'ottica integrata, consentendo di realizzare dispositivi miniaturizzati e dispositivi optoelettronici;
- Ottica integrata è la tecnologia che integra dispositivi ottici e componenti per la generazione, la ricombinazione, la modulazione, la rivelazione di luce su un singolo substrato (chip);
- Il concetto di base su cui si fonda è la riflessione totale (se l'indice di rifrazione n1 del primo mezzo è minore dell'indice di rifrazione n2 del secondo mezzo per particolari angoli, superiori all'angolo limite, si avrà riflessione totale all'interno del secondo mezzo).

Guida d'onda realizzata allo stage all'università di Tor Vergata a Roma

Costruzione

Durante i laboratori all'università di Tor Vergata è stato utilizzato il metodo sol-gel per realizzare delle guide d'onda. Le fasi della preparazione sono le seguenti:

idrolisi → Formazione di una sospensione colloidale di particelle solide nel liquido (Sol);

condensazione → Processo di trasformazione del Sol in Gel (parte liquida);

essiccamento → Trasformazione attraverso trattamenti termici in ossido ceramico (il liquido evapora e rimane un solido).

Il processo sol-gel costituisce uno dei principali metodi per la fabbricazione di materiali ceramici, tipicamente ossidi di metalli. Il processo prevede la formazione di sospensioni colloidali (*sol*) che costituiscono i precursori per la successiva formazione di un *gel* (un reticolo inorganico continuo contenente una fase liquida interconnessa) attraverso reazioni di idrolisi e condensazione. Post-trattamenti termici di essiccamento e solidificazione sono generalmente impiegati per eliminare la fase liquida dal gel, promuovere ulteriore condensazione ed incrementare le proprietà meccaniche.

Schematizzazione del processo Sol-Gel

Com'è fatta

- Substrato di silicio;
- strato di ossido di silicio (SiO_2);
- strato Sol-Gel (TiO_2/TMSPM).

E' uno strato con indice di rifrazione maggiore rispetto all'ossido di silicio e l'aria per permettere la riflessione totale, quindi la conduzione della luce.
Esso è formato da una parte organica (TMSPM), fotopolimerizzabile, e da una parte inorganica (ossido di titanio), che garantisce l'elevato indice di rifazione.

Fotolitografia ottica

Processo usato per la rimozione selettiva di parti del substrato.
Viene usata la luce per trasferire un disegno geometrico da una maschera ad una sostanza chimica sensibile alla luce (resist) stesa sopra il substrato.
La maschera è una lastra di quarzo su cui è deposto un sottile strato di Cromo, e presenta zone di trasparenza e di opacità in corrispondenza del disegno geometrico da riprodurre.

Maschera

Il processo fotolitografico avviene in camera pulita per evitare che le polveri compromettano tutto il lavoro. Questo è composto da varie fasi:

- creazione di un film, cioè di un substrato formato da una parte organica (TMSPM) e da una inorganica (ossido di titanio: TiO_2), attraverso la tecnica Sol-Gel;
- deposizione per spinning (rotazione veloce del substrato) a 6000 giri/min;
- processo termico di pre-baking per consolidare la struttura del film;
- esposizione del campione alla luce u.v. attraverso una maschera. Le parti del substrato illuminate vengono densificate, invece quelle non illuminate vengono eliminate;
- eliminazione del resist indesiderato mediante la soluzione isopropanolo (fase dello sviluppo);
- post-baking, ultima fase termica, per il consolidamento definitivo della struttura;
- verifica del funzionamento della struttura attraverso il microscopio ottico.

Si utilizza il microscopio ottico per osservare la qualità della guida d'onda realizzata e per incanalare al suo interno un fascio di luce che, attraverso la riflessione totale, fuoriesce al termine della guida.
Purtroppo nel nostro caso la riflessione totale non è avvenuta completamente, ma si è verificato il fenomeno dello scattering: presenza di particelle indesiderate sulle pareti di guida d'onda, non perfettamente lisce, che provocano la dispersione del raggio di luce che viaggia nella guida, nella parete frastagliata che sarà quindi visibile lungo il canale d'onda, come in figura.

Fenomeno di scattering in una struttura realizzata durante lo stage.

Abbiamo riscontrato questo problema perché il processo fotolitografico non è stato effettuato solo nella camera pulita (camera esente da polveri), a causa del breve tempo a nostra disposizione, ma anche in altri luoghi dove vi era la presenza di polveri e altri agenti che hanno interferito con il nostro lavoro.
Se la riflessione totale fosse avvenuta correttamente, la luce non si vedrebbe lungo il canale, ma solo nello spot iniziale e in quello finale.
Nonostante questo, il risultato finale è più che accettabile.

Microscopio ottico

Fascio di luce, incanalato nella guida, che fuoriesce al termine di essa.

BIBLIOGRAFIA

- E. BERGAMISCHINI, P. MAGAZZINI, L. MAZZONI, *fenomeni e fisica*, Minerva Scuola, 2008
- Documenti tratti dallo stage preso l'università di Tor Vergata.

SITOGRAFIA

- Wikipedia, *fibra ottica*, http://it.wikipedia.org/wiki/Fibra_ottica
- Wikipedia, *guida d'onda*, http://it.wikipedia.org/wiki/Guida_d'onda