

Stefano Penna, Andrea Reale
 Università degli studi di Roma Tor Vergata
Damiano Musella

Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione

CIRCUITI FOTONICI INTEGRATI PER TELECOMUNICAZIONI

(PHOTONIC INTEGRATED CIRCUITS FOR TELECOMMUNICATIONS)

Sommario: la recente diffusione delle reti a larga banda ha spinto verso nuove concezioni di dispositivi ottici per le reti di accesso destinati al largo consumo. A questo proposito si parla di chip fotonici integrati, dispositivi ottici di tipo general purpose che svolgono le principali funzioni ottiche alle lunghezze d'onda in uso nelle telecomunicazioni (terza finestra). Tra le diverse soluzioni allo studio per la realizzazione di questi chip, i materiali organici rappresentano uno i principali candidati per le loro caratteristiche di basso costo di lavorazione, basso peso ed elevata propensione all'integrazione.

Con il recente sviluppo tecnologico che ha portato alla diffusione delle comunicazioni a larga banda, negli ultimi anni è sorto un grande interesse nella ricerca di soluzioni tecnologiche che permettano di realizzare dispositivi per reti di accesso, destinati quindi all'utente finale, che siano a basso costo e ad alta integrazione.

A questo proposito si parla di circuiti fotonici integrati, intendendo singoli dispositivi ottici di tipo general purpose, che al loro interno implementino tutte le principali funzioni ottiche quali generazione, ricezione, modulazione, amplificazione e accoppiamento, ma che al tempo stesso abbiano dimensioni e costo ridotti.

La realizzazione di questi dispositivi richiede quindi materiali che si prestino ad un alto livello di integrazione, abbiano peso contenuto e ovviamente mantengano alti livelli di prestazione per le singole funzioni ottiche

Abstract: the recent development of broadband optical networks has led research towards new concepts of optical devices for access networks. Photonic integrated circuits, that are general purpose optical devices performing the main optical functions in the telecommunications wavelength range (the third window). Among the different alternative technology solutions for processing of these chips, organic materials play a relevant role for their properties of low cost of manufacturing, low weight and potential for high scale of integration.

per le quali vengono scelti.

E' proprio la selezione dei materiali a giocare un ruolo fondamentale nella ricerca e sviluppo di ottica integrata: all'approccio iniziale di individuare il materiale che da solo permettesse di implementare tutte le funzioni (approccio monolitico), negli ultimi anni si è sostituito l'approccio alternativo (ibrido) di scegliere per ogni funzione il materiale più adatto, spostando a valle della selezione il problema dell'integrazione tra materiali.

L'approccio ibrido da un lato consente una

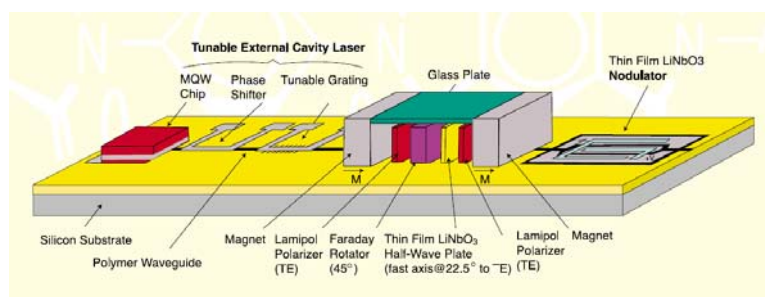


Figura 1. Prototipo di circuito fotonico integrato [1]

maggior ottimizzazione delle prestazioni potenziali del dispositivo finale, includendo una maggior robustezza legata alle proprietà meccaniche dei materiali, dall'altro rende ancor più centrale il problema dell'alto grado di integrazione richiesto.

A tal proposito, tra le diverse soluzioni proposte negli ultimi anni, interessante è quella fornita dai materiali organici (polimeri e small molecules), soprattutto perché consentono di centrare l'ulteriore obiettivo del basso costo del prodotto finale rispetto ad altre tecnologie concorrenti (principalmente Silicio drogato e nanocristalli di Silicio).

Le tecniche di lavorazione dei composti organici (tipicamente, evaporazione termica per le small molecules e solution processing per polimeri) sono infatti tecniche dai costi potenzialmente ridotti rispetto ai semiconduttori tradizionali e predisposte per produzioni ad alta portata nel caso di commercializzazione a livello industriale.

Di seguito, alcuni esempi per meglio comprendere lo stato dell'arte e i vantaggi derivanti dall'applicazione dei materiali organici alle comunicazioni ottiche.

Modulazione

Come è noto, la tecnologia attualmente dominante per la modulazione ottica è basata sui cristalli di Niobato di Litio (LiNbO_3), che consentono di ottenere rate di modulazione fino a 40 GHz a fronte però di un'alta tensione di inversione richiesta (6V) e di un grado di integrazione su chip pressoché nullo. Utilizzando polimeri con alto coefficiente elettro-ottico (fino a 200 pm/V contro i xx pm/V del Niobato di Litio) è stato possibile realizzare prototipi di modulatore ottico su substrato flessibile come quello in figura 2, realizzato presso l'UCLA (University of California Los

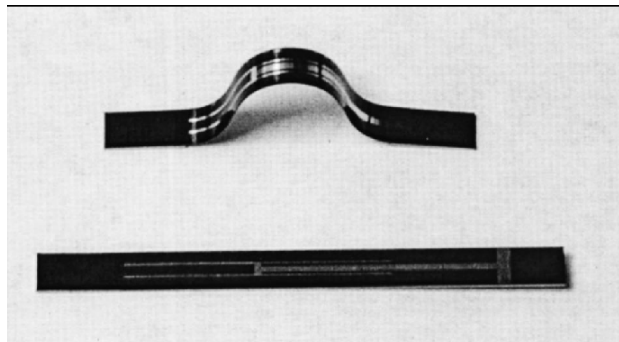


Figura 2. Prototipo di modulatore ottico organico su substrato flessibile [2]

Angeles) [2], che presenta una tensione di inversione di 2,6 V e un rapporto di estinzione maggiore di 20 dB.

La flessibilità meccanica è forse il vantaggio maggiore degli organici rispetto ai cristalli, poiché consentono di realizzare dispositivi con maggior tolleranza agli stress meccanici, ideali per applicazioni in condizioni ambientali estreme.

Amplificazione

L'amplificazione ottica in terza finestra, oggi realizzata per mezzo di amplificatori in fibra drogata con Erblio (EDFA), presenta attualmente tre principali limitazioni:

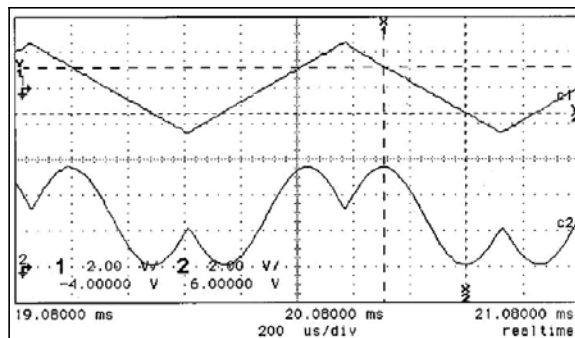
1) la necessità di utilizzare esclusivamente un laser di pompa per eccitare opportunamente le strette righe di assorbimento dell'Erblio;

2) l'ingombro dell'amplificatore in fibra dovuto al limite di concentrazione di Erblio nella matrice vetrosa che estende la lunghezza efficace del cavo drogato;

3) la difficoltà di integrazione con altri componenti ottici viste le dimensioni del cavo e la bassa propensione all'integrazione del materiale stesso.

Il superamento di questi limiti sembra poter essere offerto da una classe di materiali organici, gli organolantanidi [1], costituiti da molecole organiche (dette leganti) drogate con ioni lantanidi (tipicamente Er, Nd, Yt) [3][4][5].

Il vantaggio principale di questo tipo di composti risiede nella possibilità di ottenere emissione nell'infrarosso pompando otticamente nella banda di assorbimento del legante organico, che trasferisce poi l'eccitazione allo ione metallico, ovviando in questo modo alla bassa cross section di assorbimento dei metalli di transizione [6][7].



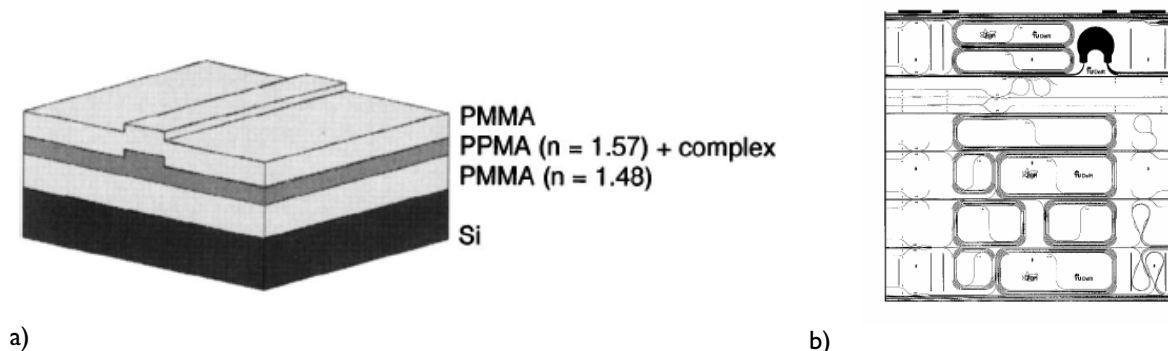


Figura 3. Prototipi di a) amplificatore in guida d'onda organica [6] e di b) circuito ottico integrato [8]

Inoltre alcuni organolantanidi presentano buone proprietà di trasporto elettrico che, unite al comportamento da semiconduttori, offrono la possibilità di avere emissione in elettroluminescenza, permettendo il pompaggio elettrico.

In figura 3 sono mostrati alcuni prototipi di guide d'onda con amplificazione in terza finestra basate su composti organici drogati con Erblio, realizzati presso il FOM (Istituto di Fisica Atomica e Molecolare) di Amsterdam sono stati realizzati [6][8].

Verso il laser organico per telecomunicazioni

Avvalendosi del contributo e delle competenze derivanti da collaborazioni a livello nazionale ed internazionale [Università di Roma "La Sapienza",

Università di Salerno, National Institute of Communication Technologies (Giappone), Istituto de Telecomunicacoes (Portogallo)], presso il Laboratorio di Optoelettronica dell'Ufficio IV (Settore 3) dell'ISCOM è allo studio la realizzazione a basso costo di un prototipo di laser organico in terza finestra.

L'idea deriva dalla sintesi delle nuove tecniche litografiche di imprinting [9], che permettono alta risoluzione ed estrema semplicità di processo, con l'impiego dei nuovi composti organo-metallici ad emissione nell'infrarosso.

E' noto che da un punto di vista concettuale un laser può essere semplicisticamente ridotto ad una cavità risonante (per la selezione della lunghezza d'onda) in cui il materiale attivo ha uno spettro di emissione nel range ottico desiderato.

La litografia per imprinting è un processo di lavorazione che consente di realizzare cavità laser

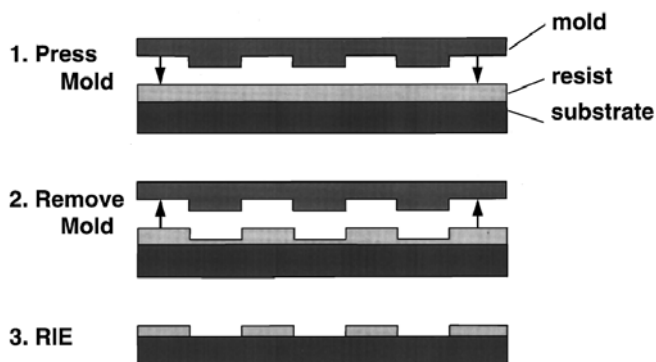


Figura 4. Le fasi del processo di nanoimprinting lithography per la realizzazione di un reticolo di diffrazione [10]

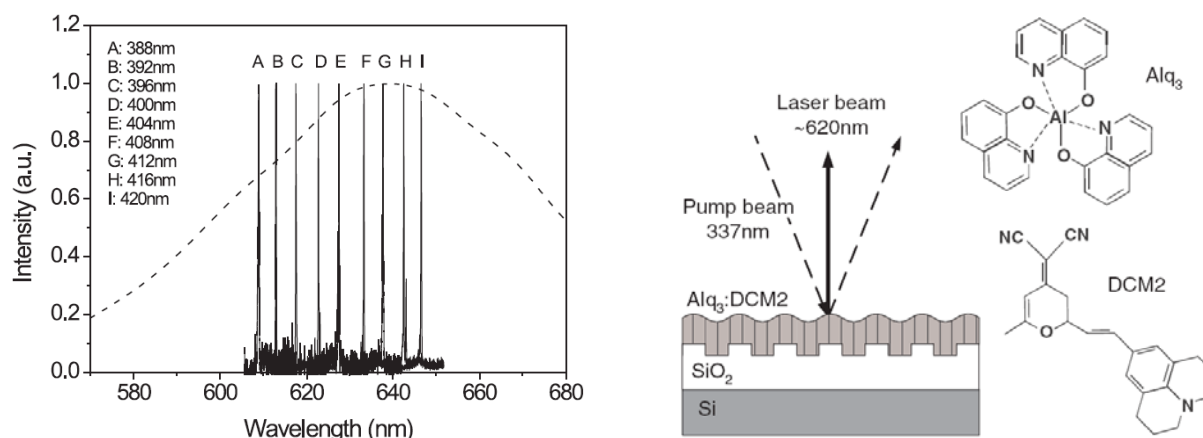


Figura 5. Prototipo di Laser DFB organico con emissione nel range rosso [11]

per semplice impressione di uno stampo (che riproduce in negativo il reticolo di diffrazione voluto) su di uno strato di resist polimerico (tipicamente PMMA) precedentemente depositato su un substrato.

Dopo la fase di imprinting (che può durare anche soltanto pochi minuti), è sufficiente una fase di etching per trasferire il reticolo di diffrazione dal resist al substrato.

Depositando sul substrato precedentemente lavorato il materiale attivo, indipendentemente se in soluzione o per sublimazione, è quindi possibile realizzare una cavità laser organica a pompaggio ottico in modo relativamente semplice, rapido ed economico [11].

Il materiale individuato per la funzione di mezzo attivo nella cavità laser è un composto organico

drogato con Erblio al centro delle attività di studio nei Laboratori di Optoelettronica dell'ISCOM.

Questo composto, che prende il nome di Erblio-di(Bromochinolina) (ErBrQ), è stato sintetizzato presso il Dipartimento di Chimica dell'Università degli studi di Roma "La Sapienza" e rappresenta un'evoluzione dei composti organo-metallici più utilizzati finora in termini di proprietà ottiche e meccaniche.

L'ErBrQ garantisce infatti maggiore efficienza di emissione a 1530 nm, esattamente all'interno della cosiddetta terza finestra, ovvero il range di lunghezze d'onda standard delle comunicazioni ottiche odierne.

Diversamente dalle sue versioni precedenti, l'ErBrQ presenta l'ulteriore vantaggio di essere particolarmente predisposto ad essere lavorato in fase liquida, sfruttando quindi in pieno il vantaggio delle tecniche di lavorazione a basso costo tipiche dei polimeri, più semplici ed economiche rispetto alle tecniche tradizionali usate per le small molecules.

Fondendo quindi i vantaggi derivanti dalla litografia per imprinting con le proprietà ottiche dell'ErBrQ, riteniamo sarà possibile nei prossimi mesi realizzare il primo prototipo di laser organico in terza finestra.

Come già accennato, si tratterebbe di un laser a pompaggio ottico, cioè di un dispositivo in cui l'eccitazione è fornita da un segnale ottico invece che da corrente elettrica.

D'altra parte, la realizzazione di dispositivi con emissione IR a pompaggio elettrico è già attualmente allo studio presso il Lab-Opto dell'ISCOM.

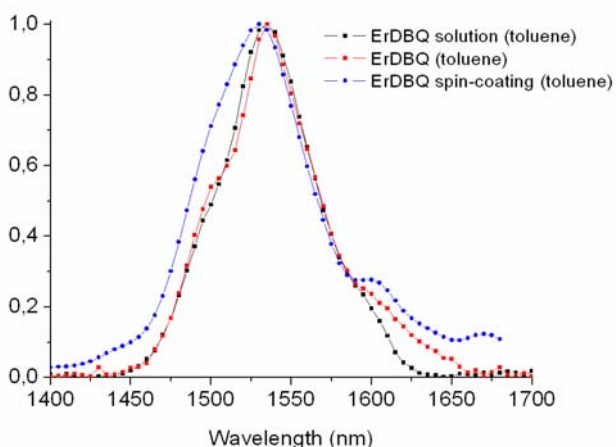


Figura 6. Spettri di luminescenza nel range infrarosso di Erblio-di(Bromochinolina)

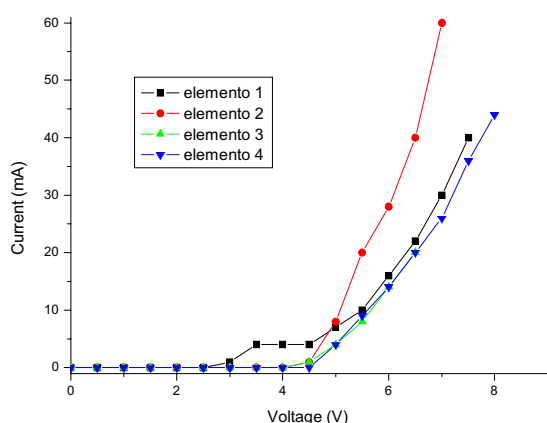


Figura 7. Caratteristica Tensione-Corrente e Luminescenza da LED organico basato su Erbido-idrossichinolina [13]

In particolare, la ricerca è focalizzata sull'applicazione di composti organometallici per la funzione di strato attivo all'interno di diodi LED organici (OLED).

Il composto che finora ha garantito maggiori risultati è stato l'Erbio-idrossichinolina (ErQ) [3][12], con la quale è stato realizzato un diodo LED organico [13] con bassa tensione di accensione e ottima luminescenza visibile, dimostrando che la struttura del dispositivo progettato è valida dal

punto di vista della struttura e dell'iniezione di carica.

Ulteriore sperimentazione è comunque necessaria per migliorare l'efficienza di emissione IR e garantire un segnale a 1530 nm rivelabile. Un dispositivo di questo tipo rappresenterebbe la struttura base su cui applicare una discontinuità periodica di indice (ovvero un reticolo di diffrazione) per raggiungere l'obiettivo di laser organico per comunicazioni ottiche.



Ing. Damiano Musella

Nato a Napoli il 19/07/1948. Si è laureato in Ingegneria delle Telecomunicazioni presso l'Università di Roma Tor Vergata ed ha conseguito il Diploma di Scuola Superiore di Specializzazione in Telecomunicazioni presso l'Istituto Superiore delle Comunicazione e delle Tecnologie dell'Informazione (ISCOM). Ha insegnato per tre anni in Istituti Tecnici per periti industriali, è membro di alcuni Comitati tecnici UNI-CEI ed ha fatto parte del Working Group 4 WP 2/4 ITU-T (International Telecommunication Union). Attualmente è il responsabile del Laboratorio di Optoelettronica dell'Uff. IV dell'ISCTI e coordina le attività di ricerca, condotte nello stesso laboratorio, relative allo studio, alla realizzazione e alla caratterizzazione di materiali e dispositivi polimerici nell'ambito della Convenzione ISCOM - Università di Roma "Tor Vergata".

Dottorandi Università di Roma Tor Vergata



Ing. Luigi Salamandra

Nato il 30/12/1981 a Roma. Si è laureato in Ingegneria Elettronica il 03/05/2006 presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", con la tesi dal titolo "Simulazione di FET basati su nanowire di Silicio", conseguendo il massimo dei voti. Da Luglio ad Ottobre 2006 è risultato vincitore della borsa di studio per il progetto "Fotovoltaico Regione Lazio". Da Novembre 2006 è studente borsista del corso di dottorato in "Ingegneria delle Telecomunicazioni e Microelettronica" presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", nell'ambito della convenzione ISCOM - Tor Vergata. La sua attività di ricerca riguarda la realizzazione di fotorivelatori per telecomunicazioni basati su materiali organici.



Dott. Andrea Reale

Si è laureato in Ingegneria Elettronica nel 1997, ed ha conseguito il dottorato di ricerca nel 2001. L'attività di ricerca è classificabile in due aree principali, legate all'optoelettronica (studio, progettazione, caratterizzazione delle proprietà ottiche lineari e non lineari di guide ottiche a semiconduttore inorganici ed organici) e alla nanoelettronica (analisi teorica e sperimentale delle proprietà ottiche, elettro-ottiche ed elettriche di nanostrutture di nitruri di Gallio (GaN), applicazioni elettroniche e sensoristiche di dispositivi basati su nanotubi di carbonio).



Ing. Stefano Penna

Nato a Roma il 18/12/1979. Nel Maggio 2005 si è laureato in Ingegneria delle Telecomunicazioni presso l'Università degli studi di Roma "Tor Vergata" con tesi dal titolo "Realizzazione e caratterizzazione di sorgenti ottiche nel vicino Infrarosso basate su semiconduttori organici" svolta presso la Fondazione Ugo Bordoni (FUB), l'Istituto Superiore delle Comunicazioni (ISCOM) e l'Istituto di Microelettronica e Microsistemi del CNR-Roma2. Da Novembre 2005 è studente borsista del corso di dottorato in Ingegneria delle Telecomunicazioni e Microelettronica presso l'Università degli studi di Roma "Tor Vergata" nell'ambito della convenzione ISCOM-Tor Vergata. La sua attività di ricerca riguarda la realizzazione di sorgenti e amplificatori ottici in terza finestra basate su organo-lantanidi e la definizione di cavità laser organiche mediante litografia per nanoimprinting.