

OPTOELETTRONICA E FOTONICA: LE SFIDE DEL FUTURO

Roberto Accomando

In questi ultimi anni, le tecnologie legate al mondo dell'elaborazione della luce hanno fatto passi da gigante, ma c'è ancora molto da fare

L'enorme sviluppo nel campo delle comunicazioni o dell'elettronica più in generale ha accresciuto la necessità di dispositivi optoelettronici efficienti e a basso costo. Per le varie applicazioni presenti e future si è reso necessario sviluppare materiali fotonici, in grado cioè di emettere, guidare, modulare, amplificare, rivelare o più in generale elaborare un segnale luminoso. Nell'ambito dell'industria delle telecomunicazioni e della microelettronica, l'optoelettronica o fotonica, è considerata uno dei mercati più promettenti e con ampi margini di sviluppo. Dalla definizione corrente, la fotonica è la tecnologia di sistemi o dispositivi che emettono, modulano, trasmettono o rivelano la luce. Così come gli elettroni sono gli attori nell'ambito dell'elettronica, i fotoni (cioè i quanti di luce) lo sono in quello della fotonica. Nei decenni appena passati le principali innovazioni sono arrivate dal settore della microelettronica; oggi invece si pensa che il futuro sarà caratterizzato da una diffusione sempre più vasta della fotonica. Evidenze di questa diffusione si osservano già nell'uso sempre più ampio di fibre ottiche per la trasmissione a lunga distanza, di sistemi laser nell'industria e di tecnologie associate alla bio-medicina. Più futuristiche sono invece applicazioni quali le auto intelligenti basate su apparecchiature sofisticate come i rivelatori ottici. Una delle chiavi del successo della moderna microelettronica è stata la capacità di integrare sempre più dispositivi di

dimensioni minori in una stessa piastrina di semiconduttore. Questo ha permesso la realizzazione di economie di scala sempre più vantaggiose fino a rendere possibile la recente integrazione in uno stesso chip di un intero sistema elettronico con tutti i suoi componenti principali quali CPU, memoria e interfaccia con periferiche. Il semiconduttore per eccellenza utilizzato per tutte queste applicazioni e che permetterà una relativamente facile operazione di integrazione è ovviamente il silicio.

A partire dal silicio

La realizzazione di efficienti funzioni ottiche (per esempio emissione di luce, modulazione, commutazione) realizzate con circuiti integrati in silicio cristallino è di notevole interesse scientifico e offre notevoli applicazioni tecnologiche in settori quali quello delle telecomunicazioni, o più in generale delle interconnessioni e dell'isolamento ottico. Diversi gruppi di ricerca hanno concentrato la loro attenzione verso questo settore applicativo arrivando recentemente allo sviluppo di una serie di nuovi processi che consentono di modificare le proprietà ottiche del silicio e di realizzare così dispositivi optoelettronici avanzati. Poiché il silicio è il semiconduttore più usato nella fabbricazione di dispositivi elettronici e presenta una tecnologia di lavorazione matura e a basso costo, sarebbe ovvio utilizzare prevalentemente questo semiconduttore per la realizzazione di dispositivi optoelettronici.

Tuttavia la banda proibita indiretta e il debole effetto elettro-ottico lo rendono inadatto alla implementazione di due funzioni ottiche fondamentali quali l'emissione e la modulazione. Sebbene al momento è l'integrazione ibrida di funzioni elettroniche in silicio, con funzioni ottiche realizzate in semiconduttori composti, a fornire il legame tra tecnologia ottica e tecnologia elettronica, notevoli sforzi vengono dedicati alla implementazione di una optoelettronica basata completamente sul silicio.

Avanzamenti molto significativi in questo campo sono stati ottenuti da un gruppo di ricercatori dell'Istituto di Metodologie e Tecnologie per la Microelettronica del CNR. Utilizzando opportune modifiche delle proprietà del silicio sono stati progettati e fabbricati nuovi dispositivi optoelettronici (emettitori di luce, modulatori, guide d'onda integrate). Ad esempio, un'efficiente elettroluminescenza a 1,54 μm a temperatura ambiente è stata ottenuta da dispositivi al silicio, drogato con ioni erbio, che possono essere modulati a frequenza fino a 10 MHz. Questi dispositivi sono stati integrati con guide d'onda al silicio che presentano perdite molto basse (<1 dB/cm) e sono pilotati da dispositivi elettronici. Tutti questi dispositivi discreti e integrati sono stati fabbricati usando la tecnologia planare di lavorazione del silicio. Nel prossimo futuro questi studi porteranno certamente alla comparsa sul mercato dei nuovi dispositivi basati completamente sulla tecnologia al silicio. Ovviamente, il risul-

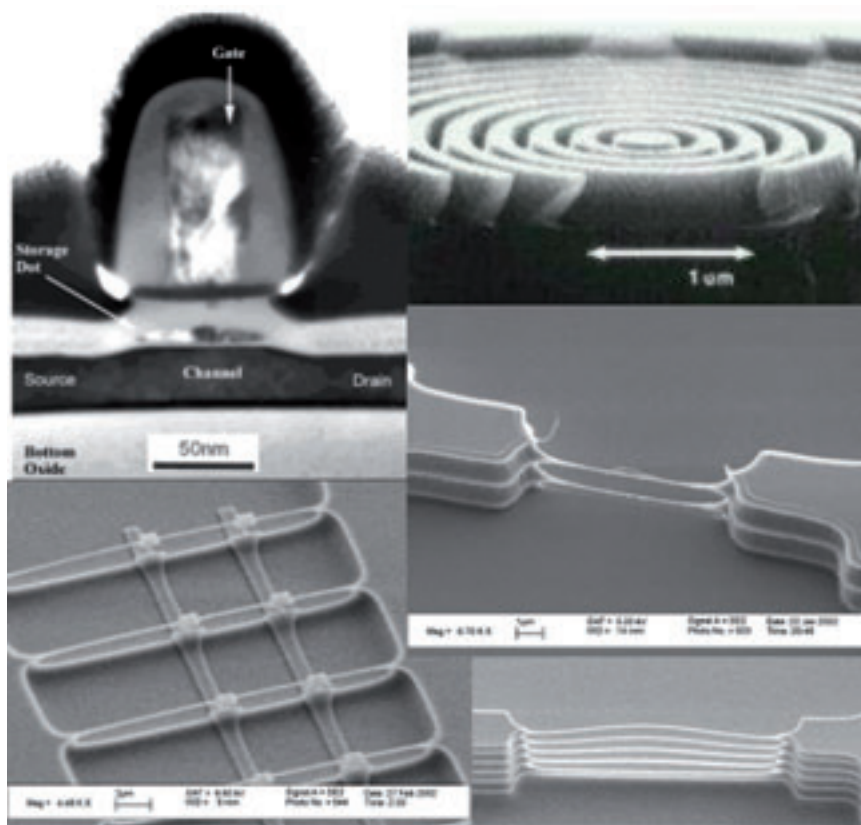


Fig. 1 – Esempi di strutture nanometriche

tecnologia microelettronica. In particolare ciò consentirebbe un drastico abbattimento dei costi di realizzazione e, pertanto, il superamento del maggiore ostacolo che oggi si presenta alla diffusione delle reti ottiche su vasta scala. Un esempio tipico in tali settori è dato dalle applicazioni fiber-in-the-loop, dove ancora una volta considerazioni di carattere economico suggeriscono l'utilizzo di sistemi optoelettronici al terminale utente del tipo low cost - low performance (quali filtri accordabili in lunghezza d'onda, rivelatori, modulatori e switch ottici con data rate di circa 1 Mbit/s). Ciò rende economicamente possibile per le compagnie telefoniche la conversione dell'attuale rete elettrica in una ottica, consentendo all'utente di optare in un secondo momento, a sue spese, per una connessione ottica ad alte prestazioni.

tato ottenuto nella ricerca di base verrà migrato verso altri settori industriali, avendo come principale vantaggio una sostanziale riduzione del costo di tutti i dispositivi fotonici a base di silicio.

Perché il silicio?

La realizzazione di componenti ottici che possano fare da interfaccia tra circuiti microelettronici e fibre ottiche è di fondamentale importanza. Il silicio è

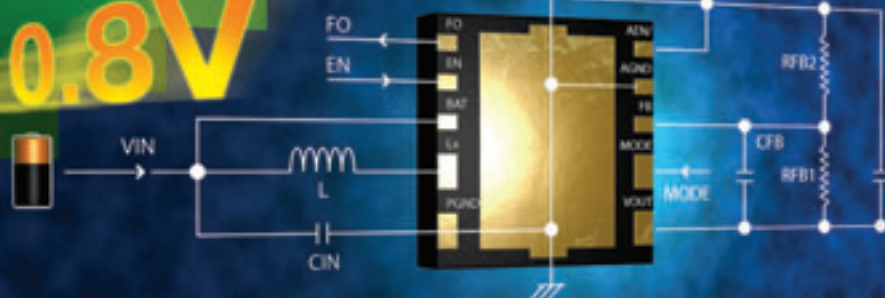
senz'altro uno dei materiali più promettenti in tale ambito. Esso infatti consente di sfruttare le potenzialità della tecnologia microelettronica per realizzare, con bassi costi di produzione, chip in cui componenti elettronici e ottici siano efficientemente e monoliticamente integrati. Le cosiddette applicazioni fiber-to-home e, in generale, la realizzazione di LAN trarrebbero grandi vantaggi dall'utilizzo di componenti ottici compatibili con la

Optoelettronica e oltre

È ormai consolidato il fatto che le moderne reti per telecomunicazioni basano il loro funzionamento su uno "strato ottico" intendendo con questo una struttura composta da fibre e componenti per la trasmissione ed elabora-

XC9128/29 Convertitore DC/DC step-up a rettificazione sincrona con ingresso da 0,8 V

0.8V



- Tensione di ingresso: 0,8 - 5,3 V
- Tensione di uscita: 1,8 - 5,3 V (aggiustabile esternamente)
- Corrente di uscita : 500mA (Vout=3.3V, Vin=1.8V)
- Frequenza di lavoro: 1,2 MHz
- Rampa di accensione con soft-start: 5 ms (typ)
- Protezione termica e sovracorrenti
- Package: MSOP-10, USP-10B e SOP-8

zione dell'informazione sotto forma di segnali luminosi. Nonostante questa sempre più capillare struttura e la chiara tendenza verso l'integrazione di più funzioni all'interno dello strato ottico, esiste ancora un importante livello di elaborazione del segnale in forma elettronica che viene realizzato con particolari prodotti optoelettronici. Alla necessità di sviluppare circuiti optoelettronici integrati maturata nell'ambito delle telecomunicazioni si è di recente affiancata l'esigenza di integrare su chip componenti fotonici, allo scopo di realizzare interconnessioni ottiche su chip e tra-chip, con prestazioni che potenzialmente sarebbero enormemente superiori a quelle che oggi caratterizzano i circuiti microelettronici, e che ne limitano l'integrazione oltre certi limiti fisici.

L'attenzione di numerosi laboratori di ricerca che studiano materiali innovativi per la realizzazione di circuiti optoelettronici è principalmente concentrata in due correnti: il silicio e altri innovativi materiali. Per far fronte alla richiesta di nuove funzionalità in modo sempre più consumer-friendly, si ritiene che anche per la fotonica si debba perseguire la stessa strada seguita per la microelettronica: realizzare circuiti ottici integrati. Esistono varie classi di materiali con funzionalità specifiche che ottimizzano una funzione quali appunto i semiconduttori composti per i laser, i materiali vetrosi per guide d'onda o fibre ottiche, i materiali semiconduttori o isolanti per Per realizzare un'interfaccia semplice e funzionale con la microelettronica, parrebbe logico utilizzare il silicio come materiale per sviluppare circuiti ottici integrati. Purtroppo il silicio non è un buon emettitore di luce a causa delle sue proprietà fisiche.

Aggiungere funzionalità ottiche mediante la realizzazione di sistemi di dimensioni nanometriche (10-9 nm) è lo scopo dell'attività di numerosi gruppi di ricerca. In effetti, all'interno della comunità scientifica internazionale è in corso un acceso dibattito su quelle che possono essere considerate le frontiere della nano-fotonica.

Questa è una disciplina che vuole inter-

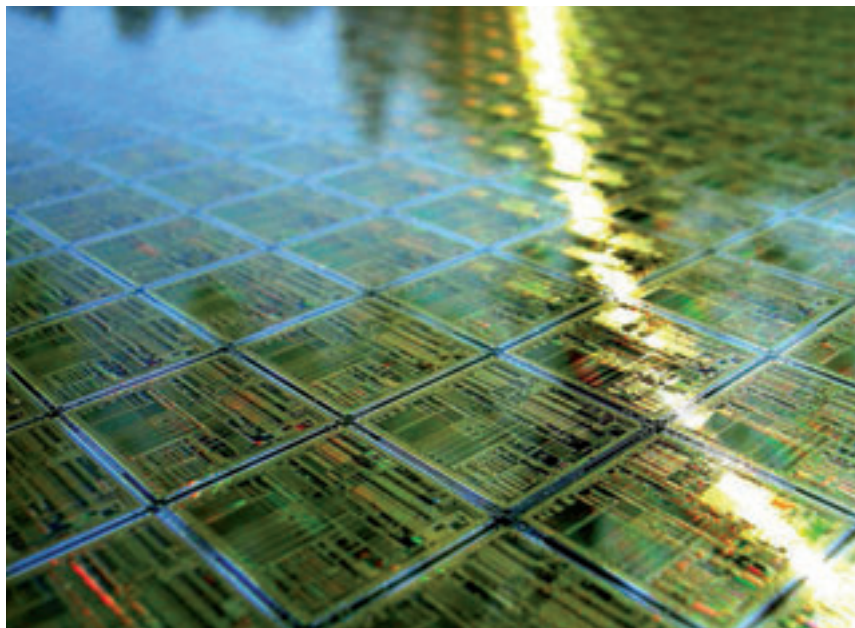


Fig. 2 – Un wafer di silicio

facciare l'ottica con la tecnologia delle nano-strutture, le cui dimensioni tipiche sono inferiori alla lunghezza d'onda della luce.

La nano-fotonica comprende quindi prodotti già commerciali come i laser a buca quantica o i biosensori ottici, mentre le linee di ricerca attuali sono essenzialmente tre: confinamento nanometrico della materia (come nei nanocristalli di silicio), confinamento nanometrico della luce (come nei cristalli fotonici o nelle fibre ottiche) e processi fisico-chimici alla scala nanometrica.

Per esempio il controllo della crescita epitassiale su scala atomica ha permesso la realizzazione dei laser a cascata quantica dove l'iniezione di un singolo elettrone produce l'emissione laser di una cascata di fotoni.

Analogamente sono state create strutture reticolari formate da sequenze controllate di DNA che permettono il controllo delle sue funzioni su scala molecolare. Nella nanofotonica sono presentati tre approcci tecnologici differenti.

Il primo si basa sull'evoluzione della microelettronica che a partire da dispositivi discreti con un approccio scaling-down cerca di realizzare dispositivi sulle scale dei nanometri: è la visione di sistemi nano-fotonici basati su strutture ordi-

nate alla scala atomica. L'altro approccio sfrutta uno scaling-up delle proprietà dei singoli atomi, partendo quindi dal controllo di singole molecole che vengono assemblate in strutture supramolecolari più complesse, fino a realizzare dispositivi macroscopici. L'ultimo approccio vuole sfruttare la complessità insita nella materia biologica cercando di interfacciarla con la moderna microelettronica: la domanda di fondo è come sfruttare la complessità naturalmente insita nella materia biologica al fine di realizzare dispositivi dalle prestazioni migliori di quelli attuali.

È questo il campo della bio-fotonica e della bio-elettronica. Si intuisce quindi facilmente che la nano-fotonica e la nano-scienza in generale richiedono uno sforzo coordinato e interdisciplinare dove ci sia spazio per nuovi concetti e nuovi schemi quali appunto i materiali ibridi organici, inorganici e biologici, il confinamento spaziale, quantico e spettrale, l'auto-organizzazione, la complessità e suo controllo, la manipolazione a livello del singolo elettrone e del singolo fotone.

Ed è proprio da tutti questi campi che in un prossimo futuro arriveranno le principali novità in questo settore, da sempre in continua evoluzione. ➤