

LE NANOTECNOLOGIE SPIANANO LA STRADA VERSO LA FOTONICA AL SILICIO

Angela Rossoni

Oggi le prestazioni dei computer per uso domestico o nelle imprese sono limitate non tanto dalle potenzialità del processore quanto dalla velocità di trasferimento dei dati fra il processore stesso e il mondo esterno. Le LAN aziendali e il traffico Internet, hanno già superato in volumi quello telefonico e sono in continua crescita. Le reti su rame non sono più in grado di gestire completamente il servizio; di conseguenza l'industria delle telecomunicazioni è dovuta ricorrere a soluzioni su fibra ottica. Esse tuttavia sono ancora troppo costose, il che ne ha limitato l'utilizzo nelle reti ad estensione geografica e nelle dorsali. I sistemi optoelettronici comportano la conversione dei segnali elettrici in impulsi luminosi e viceversa, per la trasmissione e l'elaborazione dell'informazione su rete. Una tipica rete ottica oggi contiene numerosi componenti: una sorgente laser o un trasmettitore, un multiplexer/demultiplexer, che combina le lunghezze d'onda ottiche, amplificatori e ricevitori che riconvertano il segnale in elettrico. Questi componenti sono ingombranti, spesso assemblati a mano e costosi. Nel corso dell'ultimo decennio, le tecnologie per le comunicazioni ottiche sono migrate dalle dorsali delle reti ad estensione geografica alle reti metropolitane (MAN) alle LAN (Local Area Network). Mentre quantità di dati sempre crescenti continueranno ad essere trasportata lungo le reti ad estensione geografica, si raggiungerà un punto di inflessione significativo quando si sarà in grado di connettere in modo

Fig. 1 - Diagramma a bande di un semiconduttore a gap diretto e di uno a gap indiretto a confronto

efficace le centrali di commutazione e diversi punti di accesso. Ciò richiederà lo sviluppo di soluzioni ottiche più economiche ed efficienti.

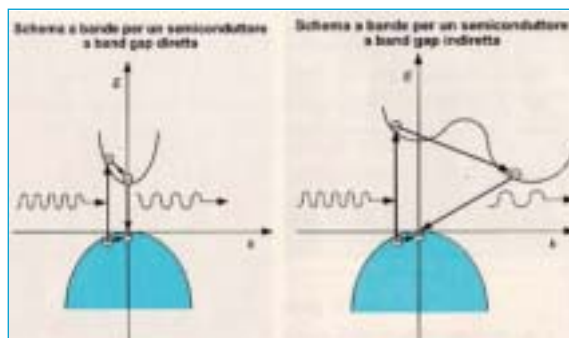
Un altro collo di bottiglia legato alle interconnessioni si sta manifestando a livello dei circuiti integrati.

Al crescere della densità degli integrati, le connessioni all'interno e all'esterno dei chip incontrano in misura sempre maggiore delle limitazioni in termini di miniaturizzazione, dissipazione di energia e frequenza operativa, tanto che diversi ricercatori stanno pensando di sostituire le interconnessioni elettriche all'interno del chip con soluzioni ottiche. Ciò sarebbe possibile se emettitori, guide e ricevitori di luce potessero far uso di processi compatibili con quello CMOS, in modo da essere implementati all'interno degli integrati al silicio.

Il silicio come materiale fotonico

Diversi centri di ricerca in tutto il mondo hanno realizzato dispositivi fotonici su silicio quali guide d'onda, filtri ottici regolabili, interruttori, modulatori, fotorivelatori. Tuttavia, la principale limitazione della fotonica su silicio è la mancanza di sorgenti ottiche (LED e laser) efficienti. Il silicio è un materiale

Per indirizzare il problema del collo di bottiglia nelle reti ottiche e nelle interconnessioni dei dispositivi microelettronici occorrerebbe realizzare emettitori, guide e rivelatori di luce in processi compatibili con quello CMOS. Questa esigenza è alla base delle ricerche sulla fotonica al silicio



a bandgap indiretto; l'emissione della luce in esso è un processo mediato dai fononi (eccitazioni termiche elementari), caratterizzato quindi da una bassa probabilità di verificarsi.

Ciò è all'origine dell'efficienza quantica interna estremamente bassa per la luminescenza dal silicio. Negli ultimi anni sono stati effettuati studi per tentare di superare queste limitazioni del materiale. Fra quelle che hanno dato finora risultati incoraggianti figurano le tecniche basate sul silicio nanostrutturato, in cui le proprietà dei portatori vengono modificate da effetti di confinamento quantico.

Aggiungere funzionalità ottiche al silicio mediante la realizzazione di sistemi di silicio di dimensioni nanometriche è lo scopo dell'attività di un gruppo di ricerca del Dipartimento di Fisica di Trento in collaborazione con la Divisione Microsistemi (MIS) dell'ITC-IRST, in cooperazione con le Università di Catania e di Modena.

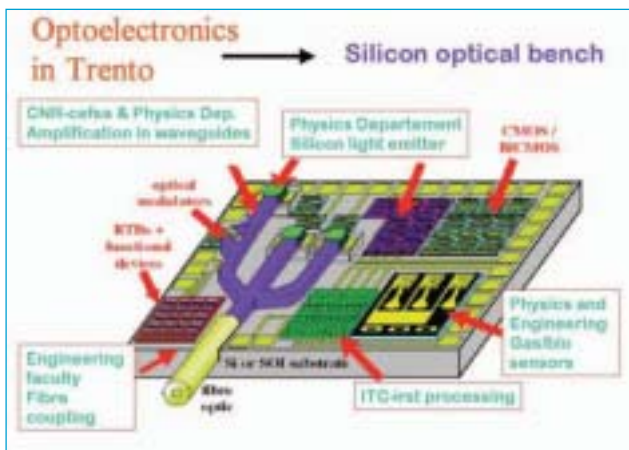
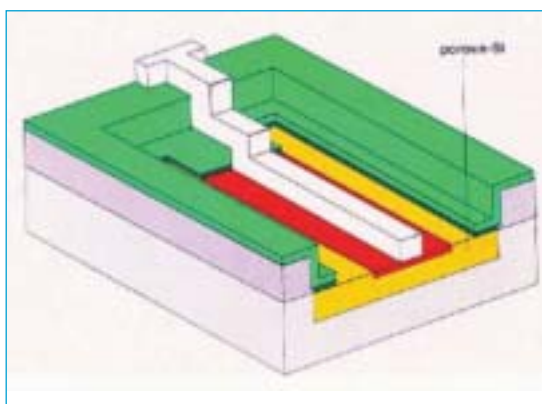


Fig. 2 - Diagramma schematico di un chip del futuro in cui verranno integrati dispositivi che si basano su principi fisici diversi. (fonte: Università di Trento)

Fig. 3 - Struttura di un diodo emettitore di luce CMOS compatibile realizzato con silicio poroso



Silicio poroso e nanocristallino come materiale per la fotonica

Nel 1990 uno studioso dei laboratori dell'Agencia della Difesa Inglese di Malvern, propose e dimostrò che quando si trasforma il Si in una struttura spugnosa composta da filamenti quantistici di dimensioni nanometriche, gli elettroni e le lacune sono fortemente localizzati, tanto che la loro ricombinazione radiativa avviene molto efficacemente, pari a circa il 10%. Tale materiale viene chiamato silicio poroso, ed è ottenuto mediante una dissoluzione elettrolitica anodica parziale del silicio. Una corrente viene fatta passare attraverso una soluzione elettrolitica contenente acido fluoridrico tra una fetta di silicio, che costituisce l'anodo, e un filamento di platino, che costituisce il catodo. Una reazione chimica che dissolve l'anodo; dei pori, con diametri tipici di qualche nanometro, vi si sviluppano in profondità, dissolvendolo parzialmente. Nel silicio poroso fino al 90% del materiale di partenza si è dissolto nell'elettrolita: variando i parametri del processo elettrolitico è possibile variare le dimensioni dei filamenti quantistici e quindi il colore dell'emissione dal silicio

poroso. Con questo materiale è stato sviluppato un primo prototipo di diodo elettroluminescente compatibile con la tecnologia CMOS.

I ricercatori dell'Istituto Max Planck per la Fisica Microstrutturata hanno recentemente sviluppato un metodo per il controllo delle dimensioni dei nanocristalli al silicio e per la loro fabbricazione su wafer da 4 pollici. La nuova tecnica è basata su una combinazione di strutture multi strato in cui ciascuno di essi è spesso pochi nanometri e presenta gap di ampiezze diverse. Si tratta di un cosiddetto "superreticolo", in cui gli strati ultra-sottili sono separati nelle fasi in modo controllabile. La luminescenza del silicio aumenta con il numero di cristalli e l'efficienza quantica dei piccoli cristalli è superiore rispetto a quella dei cristalli di maggiori dimensioni. Di conseguenza, per ottenere la massima intensità luminosa occorrono cristalli caratterizzati da piccole dimensioni ed elevate densità. Quando le strutture a nanocristalli vengono impiantate con ioni di erbio si produce un trasferimen-

to energetico molto efficace dai nanocristalli agli ioni di erbio, e la luminescenza si sposta verso gli 1.54µm di lunghezza d'onda. Questa, come ben noto, è comunemente utilizzata per la trasmissione ottica dei dati, dato che i cavi in fibra ottica mostrano un picco di trasmissione proprio in corrispondenza di questa lunghezza d'onda.

Verso i LED al silicio

STMicroelectronics ha realizzato verso la fine del 2002 un LED al silicio che possiede la stessa luminosità ed efficienza di un dispositivo all'arseniuro di gallio. Usando un film di biossido di silicio che contiene nanocristalli di silicio e ioni di erbio nello strato attivo, il nuovo LED è caratterizzato da un'efficienza quantica 100 volte superiore rispetto a qualsiasi precedente emettitore di luce al silicio. Un gruppo di ricercatori dei laboratori di R&D di Catania ha realizzato il diodo attraverso apparecchiature utilizzate per il processo CMOS standard. Il primo dispositivo commerciale realizzato in tale tecnologia sarà un chip di potenza per il controllo dei motori, per alimentatori e per relé allo stato solido, in cui il diodo emettitore di luce al silicio serve per realizzare l'optoisolatore all'interno del chip. Nel corso di un seminario tecnico tenutosi a settembre di quest'anno, STMicroelectronics ha presentato alcuni importanti progressi nella tecnologia, che potrà trovare applicazione in nuovi prodotti basati sulla capacità di integrazione di emettitori di luce, guide d'onda e rivelatori in un unico chip al silicio prodotto in volumi a costi contenuti. Il LED al silicio prodotto da STMicroelectronics è ora in grado di emettere luce per una potenza di 1mW per mm² di materiale.

La ricerca di Intel nel campo della fotonica

Intel è attiva nella ricerca nel campo della fotonica, al fine di mettere a punto nuovi materiali, strutture e architetture che consentano di realizzare sistemi fotonici integrati. Questi sforzi spaziano lungo un ampio spettro di applicazioni nelle comunicazioni che va dai trasmettitori da 10Gb agli IC ad alta velocità,

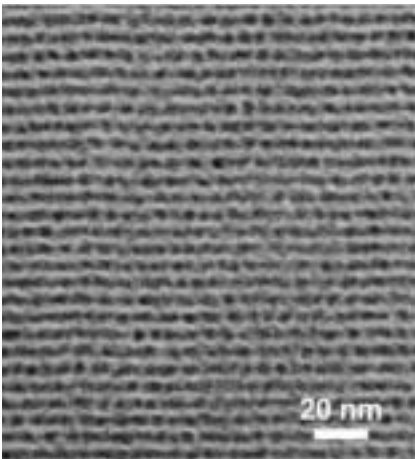


Fig. 4 - Immagine al microscopio elettronico di un film sottile del superreticolo SiO/SiO₂ che consente di ottenere luminescenza con efficienza elevata dal silicio (fonte: Istituto Max Planck per la Fisica Microstrutturata)

alle interconnessioni chip-to-chip. In particolare la ricerca nel campo della fotonica su silicio ha consentito di realizzare blocchi ottici in grado di fornire

funzionalità anziché servire da semplice guida ottica passiva. Questi potranno essere collocati in modo selettivo in moduli ottici, riducendo così l'ingombro e i costi del progetto complessivo. La ricerca in questo campo è stata avviata in uno stabilimento Intel in Israele, che produce tra l'altro dispositivi in tecnologia MEMS (Micro-ElectroMechanical Systems). È in corso di analisi un nuovo approccio che consente il controllo dinamico di segnali ottici senza richiedere parti in movimento. Esso potrà essere applicato alla realizzazione su silicio di filtri ottici, di interruttori veloci (con tempo di commutazione dell'ordine dei 10ns) e modulatori ottici ad elevata velocità, che opereranno nel campo dei GHz.

Uno di questi dispositivi è un filtro ottico regolabile presentato nel corso della manifestazione Intel Developer Forum nel 2002. Il dispositivo presenta dimensioni dell'ordine di alcuni micron ed è in grado di filtrare le lunghezze d'onda nello spettro DWDM (Dense Wave-

length Division Multiplexing). Il ridotto fattore di forma facilita l'integrazione dei dispositivi fotonici su silicio con tecniche di produzione e di assemblaggio per IC standard a basso costo. ➤

Bibliografia

M.Paniccia, Principal Engineer and Director of Photonics Research and Development; S.Y.Borkar, Intel Fellow and Director of Circuit Research Technology "Silicon Photonics, New Opportunities for Silicon"

readerservice.it

Intel

STMicronics

n.03

n.04

**Dipartimento di Fisica
dell'Università di Trento**

<http://science.unitn.it/~semicon>

Instituto Max Planck

www.mpg.de