

Proiettili nel silicio

Dagli acceleratori i “miracoli” per la microelettronica.

di Claudio Piemonte

NONE Sb:81 SEM LEI 2.3KV X2,000 WD 14.1mm 10µm

a.

La svolta epocale inizia negli anni '50: è verso la metà dello scorso secolo infatti che, grazie all'evoluzione della microelettronica, si è attuato il passaggio dalle valvole termoioniche (delle dimensioni di una lampadina) ai transistor (oggi di dimensioni inferiori al millesimo di millimetro), cuore di tutte le tecnologie più avanzate. Queste, infatti, si basano essenzialmente su due fattori: sui transistor, appunto, e sull'integrazione sempre più spinta, cioè sulla produzione di dispositivi con un numero sempre maggiore di componenti in uno spazio sempre più ridotto. Ed è grazie agli acceleratori che è stato possibile il formidabile sviluppo della microelettronica moderna: grazie ad essi infatti si realizza l'impiantazione ionica. Ma che cos'è l'impiantazione ionica?

È il processo per cui si innestano ioni di un certo elemento chimico in un solido, chiamato substrato, per modificarne le proprietà fisiche. L'impiantatore è essenzialmente un raffinatissimo acceleratore di particelle. È composto da una “sorgente”, che contiene un plasma di ioni della specie chimica di interesse, da una serie di elettrodi polarizzati ad alta tensione, che formano un pre-acceleratore lineare, i quali hanno la funzione di estrarre gli ioni dalla sorgente formando un fascio che viene immesso nello stadio successivo: il magnete analizzatore. Quest'ultimo ha il compito di selezionare le specie di interesse e respingere le altre. Le prime quindi passano attraverso una fenditura e vengono iniettate nella colonna di accelerazione. Qui gli ioni acquistano l'energia desiderata e il fascio viene focalizzato. L'ultimo stadio è rappresentato da una camera in cui è situato il bersaglio, ossia il campione da impiantare, nel nostro caso il silicio.

A causa delle continue collisioni con gli atomi che costituiscono il materiale, lo ione perde gradualmente velocità fino a fermarsi in una certa posizione. Ogni ione, penetrando nel materiale, segue un percorso leggermente diverso: così la profondità di arresto fluttua leggermente. In ogni caso, maggiore è l'energia impartita dall'acceleratore e maggiore sarà la penetrazione dello ione nel solido. Qual è l'utilizzo dell'impiantazione ionica nella microelettronica?

I dispositivi microelettronici sono realizzati su particolari materiali chiamati semiconduttori (il più usato è il silicio) nei quali è possibile modificare localmente le proprietà elettriche introducendo opportuni elementi chimici, detti *droganti*.

Fino agli anni '70 dello scorso secolo la principale tecnica di drogaggio era la diffusione termica. Essa consiste nel portare gli atomi di drogante vicino alla superficie del semiconduttore a elevate temperature (attorno ai 1.000 °C) in modo che una certa quantità passi dall'ambiente al semiconduttore stesso. Con questo metodo si possono realizzare dispositivi semplici che non richiedono una particolare collocazione degli atomi introdotti. Fu William Shockley (che nel 1948 inventò il transistor) ad avere l'idea di utilizzare un acceleratore per innestare il drogante. Ma essa,

a.

Immagine di un fotomoltiplicatore al silicio realizzato all'Fbk-irst ottenuta al microscopio a scansione elettronica. Le celle quadrate che compongono il dispositivo hanno un lato di 50 micron. Il processo di fabbricazione di questo particolare sensore richiede 4 impiantazioni ioniche con elevata precisione nella quantità di ioni impiantati.



b.

appunto, si concretizza solo a partire dagli anni '70. In questo periodo, infatti, l'acceleratore diventa uno strumento affidabile e relativamente compatto (richiede una superficie di circa 20-30 m²) grazie alla ricerca effettuata sugli acceleratori. In pochi anni questa tecnica soppianta la diffusione termica grazie ad alcuni fondamentali vantaggi: la possibilità di controllare precisamente la quantità di drogante introdotto, di collocare il drogante alla profondità voluta agendo sull'energia di impiantazione, di introdurre il drogante a basse temperature e l'ottima riproducibilità del processo. Sono tutte queste proprietà che hanno reso possibile lo sviluppo e il continuo perfezionamento di tutti quei dispositivi alla base della microelettronica moderna.

I processi di fabbricazione odierni sono diventati così complessi da richiedere anche trenta impiantazioni successive di svariati elementi chimici. Le esigenze in termini di velocità di lavorazione e di energie di impianto sono estremamente pressanti. Per soddisfare tutte le necessità sono state sviluppate tre categorie di impiantatori: ad alta corrente, che permettono una elevatissima velocità di impiantazione a scapito di una riproducibilità non ottima; a media corrente, che garantiscono ottima risoluzione di tutti i parametri di impiantazione a scapito della velocità; ad alta energia che permettono di creare fasci di ioni ad altissima energia per impiantazioni profonde. Un altro traguardo importante raggiunto da queste macchine è quello di garantire altissima uniformità di drogaggio su aree molto grandi: si pensi che i substrati di silicio arrivano oggi a un diametro di ben 30 cm e possono contenere milioni di circuiti elettronici. Un punto ancora critico è la velocità del processo di impiantazione a bassissima energia. Questa caratteristica è fortemente richiesta nella fabbricazione di dispositivi con livelli di miniaturizzazione molto spinti, come ad esempio i più recenti microprocessori. Quindi, sebbene le prestazioni raggiunte da questi acceleratori siano elevatissime, c'è ancora spazio per ulteriori avanzamenti: staremo a vedere dove riusciremo ad arrivare in questa rincorsa tra ricerca e tecnologia.

b.
Facciata anteriore dell'impiantatore a media corrente, installato nella camera pulita della Fondazione Bruno Kessler di Trento. Si intravedono i due portelloni di caricamento dei substrati di silicio e il computer di controllo.

Biografia

Claudio Piemonte lavora alla Fondazione Bruno Kessler di Trento dove si occupa dello sviluppo di sensori di radiazione a semiconduttore.

Link sul web

www.casetechnology.com/implanter/implanter.html