

Una nuova tecnica per la litografia nanometrica

Paolo De Vittor

La tecnica del "nano-imprinting" può essere utilizzata proficuamente nella realizzazione delle memorie non-volatili di nuova concezione non solo a semiconduttore, ma anche negli hard-disk di prossima generazione

Sebbene dagli anni '70 la progressiva riduzione delle geometrie integrate abbia permesso di ottenere elevatissime densità circuitali nelle tecnologie Cmos, oggi, con la continua riduzione dei pattern al di sotto dei 50 nanometri, le difficoltà realizzative e i costi associati stanno diventando proibitivi. Ciò sta spingendo da alcuni anni le società di semiconduttori e i centri di ricerca a trovare metodologie alternative, in grado di consentire un'ulteriore riduzione delle geometrie fino al limite oltre il quale i problemi di quantizzazione legati al raggiungimento di dimensioni a livello atomico non bloccheranno inesorabilmente ogni ulteriore tentativo. Le soluzioni adottate recentemente sono legate alle litografie a ridotta lunghezza d'onda (ad esempio operando nell'ultravioletto estremo, EUV) ma a costi e problemi tecnici problematici.

Una tecnica alternativa

Recentemente si è affacciata una nuova tecnica fotolitografica alternativa alla EUV, la "Step and Flash Imprint Lithography", detta brevemente S-FIL,

un termine coniato dalla società Molecular Imprints di Austin, in Arizona, che produce gli stepper per questa tecnica, già venduti a molti clienti.

Ora la società parla della nuova versione denominata J-FIL, ovvero "Jet and Flash Imprint Lithography", ideale per la realizzazione degli array ultracompati richiesti per le nuove generazioni di memorie non-volatili.

In questo processo si parte da una

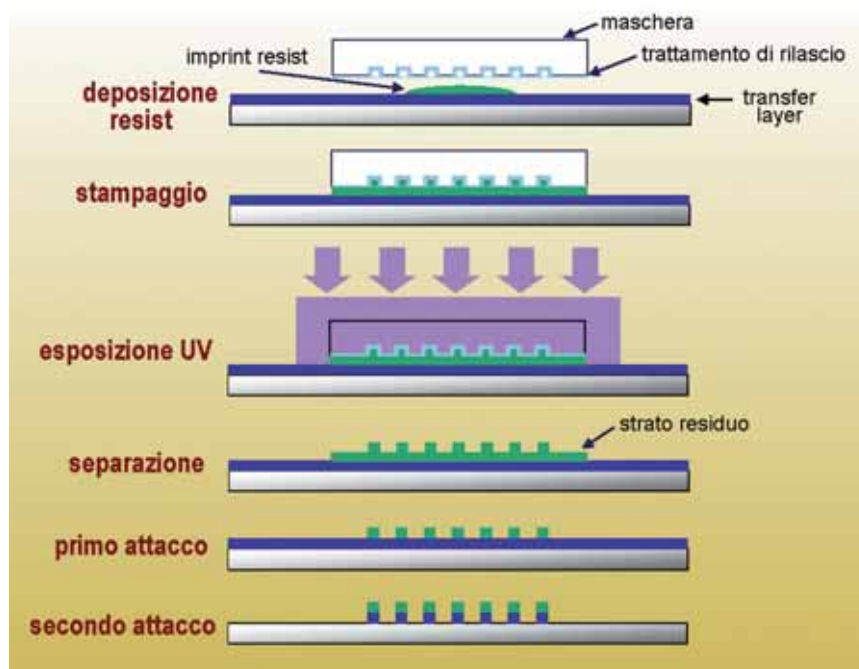


Fig. 1 – Sequenza delle fasi necessarie per la nano-litografia S-FIL (step and flash imprint)

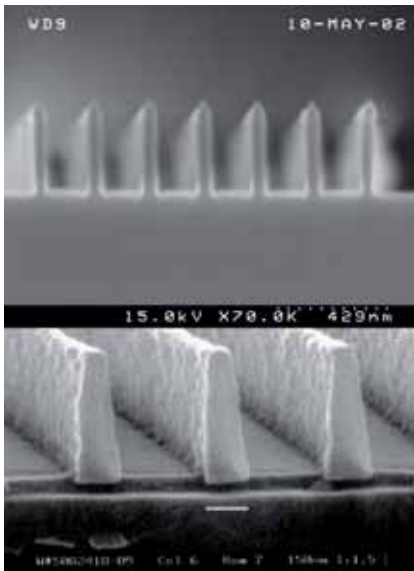


Fig. 2 - La S-FIL è in grado di permettere la realizzazione di strutture ad alta risoluzione con un elevato rapporto altezza-larghezza, migliori di quelle ottenibili con le tradizionali tecniche fotolitografiche

maschera ottenuta con una tecnica di incisione a raggio elettronico (analoga a quanto avviene in un comune tubo catodico) che viene poi utilizzata per modellare la struttura superficiale di un liquido a bassa viscosità, solidificato poi tramite esposizione a un "flash" di raggi ultravioletti a larga banda. La sequenza delle varie fasi è illustrata in figura 1. Oltre al costo ridotto di questa tecnica, un ulteriore vantaggio è rappresentato dal fatto che la risoluzione è determinata esclusivamente dalla maschera di stampa; il processo non è quindi condizionato da alcun problema legato a fenomeni di diffusione o riflessione tipici delle litografie ottiche nel caso in cui la

lunghezza d'onda della radiazione sia dello stesso ordine di grandezza delle geometrie da fotoincidere.

La tecnica S-FIL ha dimostrato infatti di poter realizzare strutture da 5 nm senza problemi, con la possibilità di poter essere utilizzata con buone rese come dimostrato ad esempio da IBM, HP, Toshiba e Samsung. Si è visto che la S-FIL sia in grado di permettere la realizzazione di strutture ad alta risoluzione con un elevato rapporto altezza-larghezza (Fig. 2) a linee molto più nette di quelle ottenibili con le tradizionali tecniche fotolitografiche submicrometriche, con caratteristiche di allineamento più che accettabili.

IBM, ad esempio, ha utilizzato una maschera S-FIL per realizzare i Fin-Fet da 30 nm utilizzati negli array embedded di memoria non-volatile.

Le sperimentazioni che riguardano la tecnologia S-FIL dimostrano che essa può altresì essere vantaggiosamente utilizzata non solo per la realizzazione di nano-dispositivi, ma anche per le interconnessioni, proprio a proposito delle quali la S-FIL promette in particolar modo di ridurre il numero delle maschere necessarie, grazie al fatto che si riescono a ottenere strutture multilivello con una singola maschera.

Le "via" e i "trench", ad esempio, servono per le interconnessioni interlivello e intralivello rispettivamente, e vengono realizzati in due diversi passaggi, anche se poi vengono riempiti in rame per sputtering in una singola fase. Nella microfotografia di figura 3, invece, è visibile l'ottimo risultato ottenuto con una sola maschera S-FIL modellata appositamente; si notino infatti gli angoli ottenuti e la nettezza dei profili.

Anche per quanto riguarda i costi, la S-FIL promette un risparmio in ambi-

to produttivo grazie al fatto di non richiedere l'uso di costose lenti di precisione, sorgenti ottiche ad alta monocromaticità nonché apparati a vuoto spinto.

Fra le società che hanno utilizzato stepper di produzione Molecular Imprints, Toshiba ha ottenuto promettenti risultati, quali la realizzazione di strutture

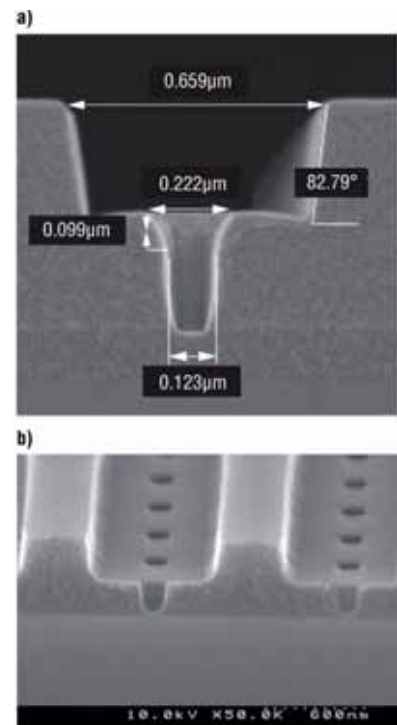


Fig. 3 - Nella realizzazione delle interconnessioni la S-FIL permette di ottenere strutture multilivello con una singola maschera. Sezione SEM di "via" di test da Molecular Imprints

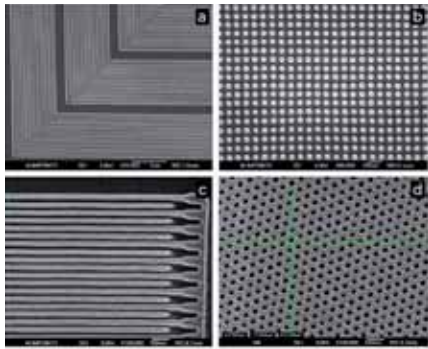


Fig. 4 – Array di test ottenuti con maschere S-FIL di Molecular Imprints: in alto strutture da 32 nm, e in basso linee e via da 25 nm

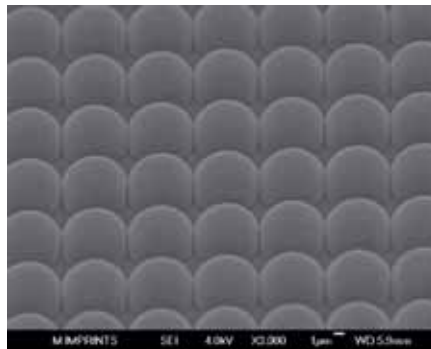


Fig. 5 – Microlenti per sensori CCD realizzate con la tecnica del nano-imprinting

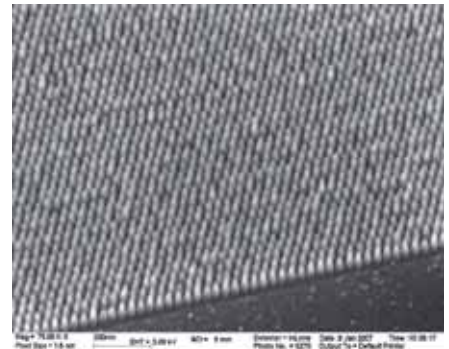


Fig. 6 – Nei futuri hard-disk sarà necessario separare i domini ferromagnetici realizzando delle “nano-colonne” a rilievo sulla superficie del disco

isolate da 18 nm con un’uniformità dimensionale migliore di 1 nm e una rugosità di bordo inferiore a 2 nm. Il livello di difettosità ottenuto è minore di 0.3 difetti per centimetro quadrato, del tutto paragonabile a quello ottenibile con le attuali tecniche di litografia a immersione.

Nelle microfotografie di figura 4 sono visibili alcune strutture da 32 e 25 nm ottenute con maschere S-FIL.

Nuove prospettive

Grazie al ridotto costo produttivo, si sta pensando di utilizzare questa nuova tecnologia anche in settori non direttamente legati alla microelettronica, ciò che permetterà di accelerarne l’ottimizzazione e acquisire esperienze “sul campo”, in vista del suo utilizzo nella produzione di volume dei futuri dispositivi Cmos.

Grazie alle sue potenzialità, infatti, la S-FIL può essere proficuamente sfruttata nella realizzazione di strutture e sensori per l’ottica (ad esempio le microlenti per CCD, Fig. 5) e le biotecnologie.

Nel campo ottico, ad esempio, una possibilità potrebbe essere quella di

migliorare la luminosità e l’efficienza dei diodi LED proprio grazie alla S-FIL, che può consentire di stampare strutture a “cristallo fotonico” a nanoscala sulla superficie dei LED.

Un altro settore che potrà trarre beneficio dalla S-FIL è ad esempio quello degli hard-disk, dove il prossimo traguardo produttivo sarà raggiungere 1 Terabit (1.012 bit) per pollice quadro nel 2010, con la prospettiva di continuare nel decennio con una crescita annua del 50%.

Quando le dimensioni dei “grani” (domini ferromagnetici) scendono al di sotto dei 25 nm, infatti, per prevenire l’instabilità termica e aumentare il rapporto segnale/rumore occorre “stampare” (modellare in rilievo) le relative porzioni della superficie, con densità dell’ordine dei 10 mila miliardi di “nano-colonne” (Fig. 6) incise su ciascuna faccia del disco. Questa tecnica viene chiamata BPM, ovvero “Bit-Patterned media”.

Oggi ad esempio si utilizzano strutture ferromagnetiche con grani di 7 nm di lega CoCrPt separati da un sottile strato di ossido che costituisce il confine del grano a memorizzazione per-

pendicolare; per memorizzare un bit occorrono però molti di questi grani con orientazione magnetica uniforme. Ulteriori riduzioni nelle dimensioni dei grani, però, portano ad accentuare i fenomeni dovuti all’effetto superparamagnetico, che induce di fatto delle instabilità e delle commutazioni magnetiche indesiderate. Ecco quindi la necessità del “nano-patterning” dei domini ferromagnetici, ciò che permette di uniformare notevolmente la dimensione e la forma dei grani, a tutto vantaggio delle operazioni di lettura e scrittura.

readerservice.it

- Advanced Materials Research Center** www.amrctx.org
- Hewlett-Packard** n. 1
- IBM** n. 2
- Molecular Imprints** www.molecularimprints.com
- Samsung** n. 3
- Sematech** www.sematech.org
- Toshiba** n. 4
- Wilson Research Group** http://willson.cm.utexas.edu/Research/Sub_Files/SFIL/index.htm