## Fabbricazione del silicio micro lavorato

La Perkin Elmer IC Sensors è stata tra le prime industrie a sviluppare la ricerca e sviluppo e poi la costruzione dei dispositivi al silicio micro lavorati da oltre 30 anni. Attualmente ci sono più di 150 tecnici nella fabbrica di Milpitas CA, nel cuore della Silicon Valley. Questa fabbrica ha la capacità di seguire tutte le fasi di realizzazione per prototipi e produzione di grandi volumi dalla progettazione fino al prodotto finale passando tra le varie fasi di sviluppo. Un altro impianto in Indonesia segue l'assemblaggio e la prova dei sensori IC Sensors per le grandi quantità. La maggioranza della produzione IC Sensors è nei sensori al silicio micro lavorato nel campo medicale, automobilistico, industriale e commerciale. Perkin Elmer IC Sensors è anche il maggior produttore di dispositivi MEMS e sensori al silicio per clienti industriali e militari. A partire dal progetto e la prototipazione fino alla produzione in grandi quantità, la Perkin Elmer IC Sensors ha la capacità ed esperienza per sviluppare dispositivi MEMS per ogni esigenza del cliente.Le capacità della IC Sensors può essere divisa in categorie più generali; di progetto, di processo, di assemblaggio e prova garantendo la qualità che si richiede in questo settore.

### Progettazione

Il gruppo di progettazione della IC Sensors ha sviluppato un centinaio di dispositivi tra trasduttori di pressione, accelerometri, valvole, sensori di flusso, componenti ottici e fibra ottica, dispositivi per l'analisi di prodotti chimici e componenti per la scansione microscopica.

### Mezzi di progettazione

I mezzi di progettazione dei disponibili includono modellazione degli elementi ANYSIS™ e Mechanica™, modellazione di processo SUPREM, modellazione dei componenti elettrici SPICE, Catalyst™ per lo sviluppo di software sperimentali, e strumentali di lavoro matematico MathCAD™. Una varietà di mezzi di progettazione per scopi speciali sono stati realizzati per la specifica modellazione di dispositivi come accelerometri e sensori di pressione.

### Letteratura tecnica e consulenti esterni

Il personale tecnico della IC Sensors mantiene una vasta libreria di materiale informativo che copre tutte le fasi dello sviluppo delle micro strutture a garanzia della tracciabilità. La ricerca di letteratura tecnica tramite il computer ed il rapido accesso alle librerie tecniche dell'Università di Stanford è normale durante lo sviluppo di un dispositivo. IC Sensors mantiene una relazione molto stretta con molti esperti esterni che possono assistere, con incarichi specifici, allo sviluppo della progetto.

### Configurazioni e maschere

### Sistemi CAD

IC Sensors usa il software Design workshop DW-2000™ supportato da due computer Quadra per le nuove progettazioni. Il software AutoCAD è disponibile, ma non è normalmente usato per produrre maschere. Il software DW-2000 può effettuare letture ed avere uscite sia in GDS-II o generare formati per l' E-beam. La capacità di trasferimento tramite modem dei dati della maschera è disponibile nel più breve tempo possibile. Un plotter HP DXL ed una stampante laser sono disponibili per la verifica dei lotti. È disponibile, la possibilità di conversione nel formato AutoCAD DXL. In un anno vengono generati, , circa 200 livelli di maschere.

### Creazione delle maschere

IC Sensors mantiene rapporti costanti di collaborazione con le maggiori aziende produttrici di maschere con il sistema E-beam laser, direttamente o tramite passaggi a passo e ripetizione. Le decisioni sul tipo di tecnica da usare per la creazione delle maschere sono prese in base alle caratteristiche minime dimensionali, al costo, al tempo necessario per ottenere il risultato e le necessità di produzione. Tutte le maschere hanno la superficie di cromo indurito, generalmente su vetro calcareo su fondo chiaro o scuro, tuttavia maschere per scopi speciali, come piastre ad ossido di ferro o quarzo, sono disponibili, se necessario e su richiesta anche maschere generate otticamente. I tempi di realizzo si aggirano sui tre giorni.

### Regole di progettazione

Le regole di progettazione dipendono moltissimo dal tipo di processo di fabbricazione e non possono essere generalizzate a causa della varia natura dei dispositivi prodotti. La verifica della regola di progettazione è rapidamente disponibile usando il programma DW-2000, con una sostanziale flessibilità per lo sviluppo di un progetto personalizzato.

### Tecniche di fabbricazione

IC Sensors collabora strettamente con due dei maggiori fornitori di parti di silicio per assicurare la fornitura di alta qualità con planarità della superficie controllata. Una cura aggiuntiva è di mantenere la superficie perfettamente integra da qualsiasi contaminazione. Un allineamento perfetto, uno spessore uniforme ed una qualità della superficie del bordo del silicio levigato a singola e doppia faccia. È garantita una scorta di wafer di silicio dal diametro di 100 mm sia con drogaggio **n**

che **p** e con spessori di 300, 400 e 500 µm. Altri due produttori sono usati per fornire parti di vetro al borosilicio levigato con caratteristiche ricavate tramite gli ultrasuoni.

**Silicio micro lavorato in grandi quantità**

IC Sensors è tra i primi al mondo nello sviluppo delle tecniche di micro lavorazione in grandi quantità, includendo:

- Uso di KOH, KOH e IPA e TMAH, con o senza varietà di additivi, e di solfatanti.
- L'uso di boro fortemente dopato impiantato ionicamente, diffuso e sviluppato epitassialmente con incisioni elettrochimiche di strati sia di tipo **p** che **n**, utilizzano la tecnica a 2, 3 e 4 terminali con una varietà di processi per l'incisione.
- L'uso di tecniche di compensazione di alta qualità e curvature esclusive insieme ad un metodo di compensazione di "curvatura perfetta" è essenziale per raggiungere angoli definiti. Questi schemi di compensazione sono stati progettati per un'ampia varietà di condizioni d'incisione.
- Una vasta esperienza è stata conseguita sull'incisione ed il trattamento di dispositivi estremamente fragili, incluse le tecniche di lavaggio, pulizia e asciugatura.
- Vari impianti e tecniche esclusive sono usate per l'incisione elettrochimica delle parti di silicio singole e multiple per uno o entrambi i lati.
- Conoscenza della compatibilità e delle tecniche di passivazione per vari materiali a film sottile con applicazione di tecniche per la lavorazione di quantità di parti di silicio micro lavorate per assicurare la capacità di sopravvivenza di quei materiali.

**Procedimento litografico**

Il procedimento litografico per i componenti micro lavorati è diverso per ogni modello IC Sensors, questo è dovuto alle differenti tipologie dei dispositivi da fabbricare. Sono disponibili le seguenti tecniche:

- Stampa per contatto o prossimità usando materiali fotoresistivi positivi con larghezza di linee sotto i 2 µm.
- Spalmatura o spruzzatura di uno strato di "resist" positivo con uno spessore variabile da meno 1 µm fino a 10 µm.
- È disponibile un processo con "resist" positivo per applicazioni speciali, ma non è consigliato a causa dei problemi di trattamento chimico.
- Modellazione di parti di silicio con incisione profonda è realizzata normalmente, con larghezze minime di linea uguale alla profondità d'incisione.
- Cottura a forno sotto vuoto ed applicazione con HMDS.
- Disponibilità di poliammidi foto sensibili.
- Sono usate speciali tecniche per permettere litografie simultanee su entrambi i lati del wafer di silicio e per la protezione dell'estremità delle pareti.

**Tecniche di allineamento**

- Sono usate maschere normalizzate di allineamento per i tradizionali procedimenti litografici, con una precisione di 1µm.
- È disponibile un allineamento IR che permette un allineamento con caratteristiche profonde sul lato posteriore del wafer di silicio. Precisione tipica d'allineamento entro i 5µm.
- Un'attrezzatura esclusiva è disponibile per l'allineamento simultaneo delle due superficie l'esposizione delle parti di silicio con una precisione tipica di 10 µm.

**Incisione al plasma**

- È disponibile sia l'incisione piana che cilindrica usando ossigeno, esafluoruro di zolfo, o esafluoruro di carbonio o varie miscele di questi gas sia per incisione di un singolo lato o simultanea di entrambi i lati o per pulitura.
- È eseguita l'incisione di grandi quantità di silicio, polisilicio, nitruro di silicio, ossinitruro di silicio, poliammide, o di vari metalli
- I materiali per le maschere includono il fotoresist, ossido e metallo in funzione dell'applicazione.
- Tecniche DOE sono usate per caratterizzare le incisioni per uniformare la profondità, la qualità della superficie e la selettività della maschera.

**Incisione ad ioni reattivi**

- Un sistema di incisione STS ad ioni reattivi utilizza il processo Bosch per un'incisione molto profonda, è disponibile nelle nostre eccellenti parti di silicio.
- Nell'incisione STSl è anche utilizzata l'incisione allo Xenon fluoruro isotropico.

**Deposizione di metallo ed incisione**

- Capacità in fabbrica di depositare Alluminio, Cromo, Oro, Titanio e Palladio.
- Esperienza con servizi esterni per la metallizzazione di Platino, Nichel, Piombo e Tantalio.
- Tutti i menzionati materiali possono essere modellati.

- Molti dei materiali sopra citati possono essere combinati per migliorare l'adesione, la sollecitazione, le proprietà di conducibilità e isolamento, o la compatibilità al processo degli strati a struttura mista.

**Ossidazione, diffusione e dosaggio**

- Esiste la capacità per eseguire l'ossidazione termica usando ossidazione a secco o vapore pirogenetico, con o senza cloro in spessori da 500Å ad oltre 4µm.
- Predeposito e diffusione di boro è disponibile da sorgenti solide, per i piezoresistori ed i fermi incisi p+ in profondità.
- L'uso di boro, arsenico, e fosforo è disponibile per potenziali di 20keV a 200keV in dosi fino a 2E16. Due fornitori esterni sono usati per questo servizio, con la capacità di preparare questo processo nell'arco di una notte.
- Ricottura termica ed esportazione fino a 1200°C.
- Dati e lavorazioni CV sono costantemente controllati e trascritti per garantire la super visione e assicurare una bassa contaminazione di ioni mobili in dispositivi critici.

**Materiali dielettrici ed a film sottile**

Un'ampia varietà di materiali sono normalmente usati come maschere e strati di supporto durante la fabbricazione.
Alcuni di questi materiali sono seguiti da specifici specialisti:

- Polisilicio LPCVD e polisilicio a grana fine.
- Nitruro LPCVD, ossido, e nitruro di silicio a bassa tensione (silicio arricchito).
- Ossido PECVD, ossinitruro, e nitruro
- Deposizione a spruzzo di quarzo, nitruro, e vetro borosiliconato.

**Tecnologia di formazione di un legame**

La IC Sensors è pioniere nello sviluppo e l'uso di molte tecniche di combinazione di parti di silicio e vetro borosilicato, nell'assemblaggio multiplo di parti diverse. Questi assemblaggi possono fornire una tenuta ai liquidi o essere isolanti ermetici tra le piste di un dispositivo micro meccanico. Queste tecniche includono:

- Legame anodico di vetro borosilicato al silicio con tecniche di tenuta di liquido o sigillante ermetico a temperatura sotto i 300°C.
- Legame di fusione di parti di silicio vuoto o anodizzato su fermi incisi.
- Tecniche esclusive di sigillatura metallo-metallo usando temperatura sotto i 300°C.
- Tecniche di legame usando agenti leganti polimerici a temperatura sotto i 200°C.
- Legante anodico a strati di polisilicio, nitruro e metallo.
- Legante anodico che utilizza strati di vetro depositato.
- Strutture a multi strato ad esempio, vetro-silicio-vetro, oppure una strutture di sovrapposizione di 4 fette di silicio fuse tra loro.
- Apparecchiatura di fissaggio per l'allineamento di vetro al silicio usando una luce visibile o silicio-silicio usando tecniche all'infrarosso IR.
- Particolare attenzione e conoscenza è disponibile per valutare le richieste di queste tecniche con attenzione alla precisione d'allineamento, preparazione della superficie, controllo, sollecitazione ed ermeticità.

**Qualita' di costruzione e verifica**

**Verifica della parte di silicio**

La seguente attrezzatura è disponibile per il processo di verifica e analisi guasti del materiale:

- **Nanoline modello 4** per la misura della larghezza
- **Nanospec modello 172** per la misura dello spessore del dielettrico
- Profilometro **Alphastep modello 200**
- Sonda **Vecco 4-pt** per la misura della resistività e resistenza del foglio di metallo, del polisilicio, del silicio in massa, o diffusioni.
- **Microscopi IR** per ispezione fronte-retro e wafer di silicio multiple.
- **Ispezione IR** sul wafer di silicio completo e della qualità del legame di fusione.
- Sagomatrice di superficie senza contatto **Wyko NT 2000.**
- **Interferometro** per la misura dell'uniformità del wafer di silicio.
- **Apparecchio MDE** per la misura dello spessore del wafer di silicio e della conicità.
- **Betascopio e Fisherscopio** per la misura del diaframma di silicio.
- **Axiospeed** per la misura dello spessore del diaframma.
- **Flexus** per la misura della sollecitazione di film sottili.

In aggiunta sono disponibili ed usate normalmente la seguente strumentazioni e tecniche tramite servizi esterni per il controllo di processo ed analisi:

- Analisi della superficie tramite ESCA, Auger, SIMS e EDX.
- SEM e AFM ad alta risoluzione.
- Resistenza di diffusione per i profili di drogaggio.

## Qualità

Esaurienti procedure di qualità sono applicate seguendo il modello QS9000 usato nel campo automobilistico. Queste procedure coprono progettazione e processo FMEA e programmi di controllo manifatturiero SPC, manipolazione del materiale, scarto, e rilavorato, calibrazione di attrezzature e istruzione del personale con certificazioni. Il nostro dipartimento della qualità è disponibile per discussioni circa l'affidabilità, le prove e revisioni. Il sistema ASK è usato per il controllo MRP di produzione.

## Assemblaggio e prove

### Investigazione

IC Sensors utilizza 4 saldatrici Electroglass 1034AX6 collegate ad un computer per la raccolta dei dati per l'investigazione elettrica degli elementi di silicio. Le sonde sono messe in rete con stampanti e server d'archivio per la visualizzazione e l'archiviazione dei dati di prova. Sonde su misura sono sviluppate per prove di pressione, portata e livello dell'elemento silicio.

## Taglio

IC Sensors ha una notevole esperienza nel taglio del silicio, vetro, ceramica, e nell'insieme di questi materiali a multistrato, includendo strutture vetro-silicio-vetro fino a 2 µm di spessore e strutture con 4 strati di silicio fino a 1,6 mm di spessore. Le larghezze di taglio hanno un campo da 40 µm ad oltre 500µm, in funzione dello spessore del materiale. Le precisioni tipiche di taglio sono entro ±25 µm, in funzione dello spessore. Varie tecniche sono state sviluppate per tagliare gli elementi fragili, ed in particolare tenendo asciutti i dispositivi durante il taglio.

## Assemblaggio, finitura laser, e prove

È disponibile l'assemblaggio di un prototipo e la produzione automatizzata usando varie configurazioni e tecniche. Sistemi di visione automatici permettono di evitare abrasioni nel posizionamento dei componenti all'interno dei sotto strati di ceramica sovrapposta, seguito dal collegamento automatizzato dei contatti. Multimetri sono collegati a trimmer di finitura automatici per la regolazione delle tensioni di fuori zero del sensore e della sensibilità. Una varietà di forni a temperatura controllata tramite computer per le prove dei componenti. Vari tipi banchi vibranti sono disponibili per prove fino a 50 g sia a temperatura ambiente che superiore. Un'ampia varietà di prove di pressione è disponibile da -1 psi a 20000 psi.

IC sensor Measurement Specialties



DSPM industria® sensori & trasduttori
Via Paolo Uccello 4 - 20148 Milano
Tel +39 02 48 009 757 Fax +39 02 48 002 070 info@dspmindustria.it www.dspmindustria.it