

Matrici di sensori di pressione piezoresistivi per la misurazione della pressione sanguigna.

Sommario

La tonometria arteriosa è una tecnica di misurazione della pressione sanguigna che usa una matrice di trasduttori di pressione premuti contro la pelle che copre un'arteria. Si descrive una nuova costruzione di trasduttori tonometrici in cui parecchi di questi danno il loro contributo in un singolo diagramma. La matrice del trasduttore è ottenuta da silicio usando un sistema di corrosione anisotropica. Uno strato epitassiale è usato per fermare la corrosione e quindi definire lo spessore del diaframma o membrana. Analisi teoriche sono impiegate per determinare la sensibilità e la risposta del trasduttore al variare della pressione sanguigna. Questo contatto è accettabilmente piccolo se la larghezza del diaframma del trasduttore è piccola in confronto dell'arteria che si sta misurando. Le matrici di trasduttori che impiegano questa nuova tecnologia costruttiva con il diaframma ripartito equamente hanno una sensibilità di circa 25 a 50 $\mu\text{V V}^{-1} \text{mmHg}^{-1}$ ed un'accettabile risposta.

Introduzione

Il monitoraggio non invasivo della pressione sanguigna per mezzo della forza che è esercitata dal vaso sanguigno e trasmessa attraverso la pelle al sensore in superficie è conosciuta come tonometria arteriosa. Attraverso una prima descrizione e prove effettuate circa 20 anni fa, un incremento commerciale dello strumento di misura della pressione sanguigna basato sul metodo tonometrico è stato ostacolato dalla mancanza di un'appropriata tecnologia dei sensori di pressione che a quel tempo si basavano sulla tecnologia estensimetrica e quindi poco sensibili e ingombranti. Negli anni successivi, la tecnologia della micro lavorazione del silicio è avanzata in modo clamoroso e sono emerse nuove tecniche di fabbricazione dei sensori.

Recentemente, una matrice di sensori è stata sviluppata, indirizzando sia le prestazioni che la costruzione per la commercializzazione del tonometro arterioso. Uno strumento monometrico impiegante il nuovo di sensore qui descritto è commercializzato dalla Colin Electronics, Ltd., Komaki, Giappone.

Fonometria arteriosa

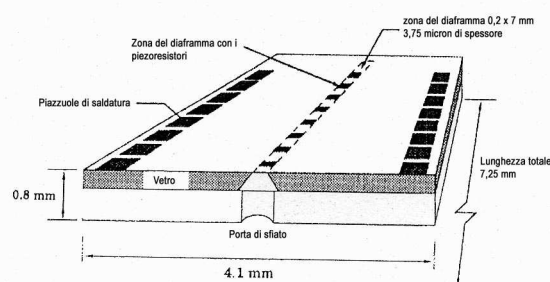
Il fonometro arterioso differisce dal familiare sfingomanometro (polso e braccio) in cui, piuttosto che misurare la pressione del cuore alla sua più grande contrazione e dilatazione sistolica e diastolica, provvede ad una misurazione continua durante tutto il ciclo di pompaggio del cuore. Tipicamente, il sensore dello strumento è posto

sopra un'arteria superficiale; il punto dell'impulso arterioso-radiale al polso è una posizione conveniente per le misurazioni tonometriche, il sensore può essere indossato come un orologio da polso.

I principi della fonometria arteriosa sono descritti in dettaglio in bibliografie più specializzate. Varie considerazioni di tipo fisiologico e pratico fanno accrescere l'interesse ad usare un sensore monometrico consistente in una matrice di trasduttori di pressione che possono essere pressati contro la pelle. Per un'accurata misurazione della pressione, la risoluzione nello spazio della matrice di trasduttori deve essere piccola in confronto alla sottostante arteria. Specificatamente, per misurazioni in un'arteria radiale di adulti, la larghezza di ogni trasduttore di pressione dovrebbe essere di circa 0,2 mm o inferiore e lo spazio tra centro e centro di due elementi adiacenti della matrice di trasduttori dovrebbe essere anch'essa di circa 0,2 mm.

Per soddisfare queste richieste, usando la tecnologia allora disponibile, molti anni fa noi fabbricammo matrici di trasduttori in silicio a singolo cristallo usando un'incisione anisotropica con KOH. I trasduttori si presentavano su due file sfalsate per approssimarsi ad una linea con le spaziature richieste il più vicino a quelle ideali. A causa della pendenza non desiderabile delle pareti laterali delle strutture incise del diaframma del trasduttore, non era possibile mettere i trasduttori adiacenti in una singola spaziatura e simultaneamente raggiungere un'adeguata sensibilità, linearità e riproducibilità.

Nuova matrice dei trasduttori di pressione



Configurazione generale

Nella matrice di trasduttori di nuovo tipo, un diaframma molto lungo è usato con una matrice di elementi sensibili di pressione spazati lungo l'asse, ogni elemento sensibile alla pressione applicata localmente dalla pelle. L'uso di un singolo diaframma elimina le pareti laterali che separano i singoli diaframmi sensibili alla pressione, permettendo di posizionare le aree sensibili abbastanza arbitrariamente.

La figura 1 mostra una tipica matrice di trasduttori progettata per applicazioni di fonometria.

Fig. 1 Vista in sezione di una matrice di trasduttori di pressione

Ogni trasduttore lungo il diaframma comprende quattro estensimetri piezoresistivi connessi a ponte di Wheatstone

Come mostrato in Figura 2, i quattro resistori sono posizionati in direzione della larghezza del diaframma in modo convenzionale a formare un diaframma rettangolare del trasduttore di pressione. I piezoresistori sono dei semiconduttori la cui membrana è la base di silicio chiamato diaframma. Applicando localmente la pressione il diaframma deflette e i piezoresistori al centro del diaframma diminuiscono la loro resistenza e quelli ai bordi viceversa aumentano la loro resistenza.

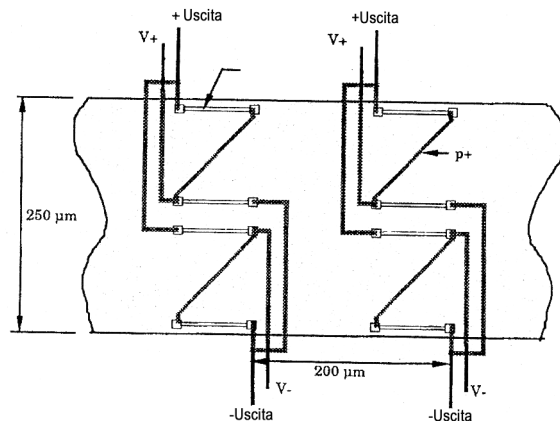
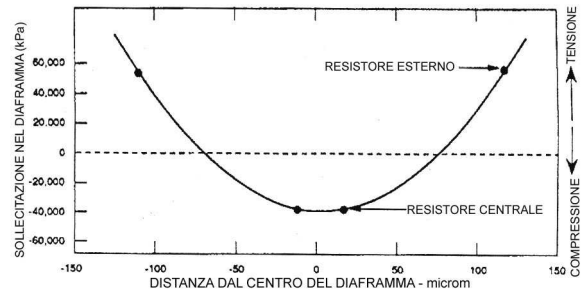


Figura 2. Disposizione dei resistori sensibili su un diaframma rettangolare largo 250µm. Ogni gruppo di quattro piezoresistori è connesso a ponte di Wheatstone con un rivestimento fortemente dopato p+. Ogni piezoresistore è largo 5 µm e lungo 70 µm. Le piazzole incollate lungo i due bordi del microcircuito. Le connessioni per l'alimentazione e la terra per tutti i 31 ponti sono in comune per ridurre il numero di connessioni richieste del microcircuito. La connessione è fatta con cavi flessibili a circuito stampato con incollaggio TAB ai due lati del microcircuito. Questi cavi connettono il multiplexer ed i microcircuiti amplificatori inseriti nella struttura del sensore monometrico.

Processo di fabbricazione

La matrice di trasduttori di Figura 1 è stata fabbricata tramite i processi ben provati e controllati nella costruzione dei circuiti integrati (IC), nella realizzazione di alti volumi dei trasduttori di pressione al silicio piezoresistivi. I dispositivi attuali sono fabbricati su dei dischi di silicio di diametro 100 mm a doppia faccia con spessore di circa 300 µm. Uno strato epitassiale tipo n su un lato del disco di silicio e di tipo p serve come blocco all'incisione dello spessore del diaframma.

L'incisione elettro ottica con KOH è usata per rimuovere il substrato di silicio dietro la regione



del diaframma. Durante l'incisione, lo strato epitassiale di tipo n è tenuto ad un potenziale lievemente positivo rispetto alla soluzione KOH. Quando il substrato di tipo p è inciso al di sotto del diaframma, esponendo la parte inferiore dello strato epitassiale di tipo n, il potenziale del silicio di tipo n diventa uno strato di ossido passivante superficialmente, riducendo la percentuale dell'incisione. Effettivamente l'incisione si ferma alla giunzione strato epitassiale-substrato, garantendo la riproducibilità dello spessore del diaframma dipendente dallo spessore dello strato, piuttosto che dal tempo d'incisione e dalla planarità dello spessore dello strato. Il processo di fabbricazione include l'impianto di ionizzazione di entrambi i piezoresistori e le diffusioni delle interconnessioni. I resistori risultanti hanno una resistenza di $250\Omega^{-1}$ con $50\Omega^{-1}$ per le interconnessioni. Sia i resistori sensibili che le interconnessioni risponderanno alla sollecitazione meccaniche del diaframma, la disposizione dei resistori di Figura 2, e la variazione in resistenza dei piezoresistori è circa 20 volte più grande che la variazione nella resistenza della connessione. Dopo la metallizzazione in alluminio e la litografia, una passivazione con spessore di 1 µm di nitrato al silicio PECVD è depositato sulla parte frontale della fetta di silicio. Le finestre aperte dal nitrato sopra le regioni del diaframma riducono la sollecitazione meccaniche nei diaframmi incrementando la sensibilità. Nei successivi passaggi, protuberanze placcate d'oro di 25 µm per l'incollaggio TBA al microcircuito. Il passo terminale di fabbricazione è l'incollaggio anodico della fetta di silicio su una fetta di vetro Pirex, che è stato preventivamente forato ad ultrasuoni per realizzare le porte ventilate. A questo punto la fetta di silicio è pronta per essere controllata e certificata. Come per i trasduttori di pressione industriali e altri dispositivi, la produzione per lotti ed il processo a livello di fetta di silicio ed il collaudo riducono il costo del dispositivo. La produzione di questi dispositivi ha una resa molto alta a beneficio dei costi.

Modellazione di un dispositivo

Allo scopo di determinare il comportamento di trasduttori multipli su un singolo cip a lungo diaframma, sono state effettuate modellazioni analitica con elementi finiti della struttura. Come descritto sotto, il modello analitico fu impiegato nella progettazione del dispositivo per incontrare una specifica sensibilità e le specifiche interferenza. L'approccio tramite elementi finiti fu usato per analizzare gli effetti delle pareti laterali inclinate della cavità incisa dietro al diaframma. La struttura di riferimento usata per il dispositivo in tutti i modelli è mostrata in Fig.3 Tuttavia, lo spessore del diaframma di 7 μm fu usato per i calcoli. (Lo sviluppo del processo di fabbricazione permise di ridurre lo spessore del diaframma al valore di 3,75 μm mostrato in Figura 1).

Sensibilità

Fig. 3 Componente calcolato alla sollecitazione (σ_1) sentita dai resistori posti attraverso il lato minore di un diaframma di 250 x 7000 x 3,75 mm con una pressione applicata uniformemente di 300 mm Hg. Sono indicate le disposizioni dell'insieme dei quattro resistori sensibili mostrate Figura 2. Il modello analitico impiegato è di Timoshenko di piatti elastici per determinare la sensibilità alla pressione dei ponti del trasduttore in funzione della larghezza del diaframma e la posizione dei piezoresistori. Il modello ipotizza margini bloccati come condizione limite per il diaframma. Una semplificazione aggiuntiva è che il modulo di elasticità del silicio fosse isotropico. Questo presupposto è appropriato perché l'incertezza del modulo in ogni direzione è più grande della variazione tra le direzioni. Il valore di $1,882 \times 10^{11}$ Pascal usata è quella più comunemente trovata nella letteratura.

S. Terry- IC Sensors, Milpitas, CAJ.S. Eckerie, R.D. Kornbluth, T. Low and C.M. Ablow

Measurement Specialties