

脳－機械間高品質信号伝達のための高感度圧力センサ 集積脳神経プローブの開発

Neural Probe Integrated with Pressure Sensors for High Quality Signal Transfer between Brain and Machines

2041009



研究代表者

東北大学

助教

木野 久志

[研究の目的]

生体情報、特に脳神経疾患の診断治療に不可欠な脳神経情報の記録および脳神経への電気刺激の重要性は年々高まってきており、その精度の向上が強く要求されている。本研究では従来開発されてきた活動電位記録用および脳神経刺激用の脳神経プローブに高感度圧力センサを集積した図1に示すような高感度圧力センサ集積脳神経プローブシステムの実現を目標とし、図2に示す高感度圧力センサ集積脳神経プローブを作製することで、脳神経プローブの刺入・留置時に脳から印加される圧力を測定し、その印加圧力の影響をリアルタイムでキャリブレーションすることで高品質・高効率な脳－機械間の信号伝達を実現する。脳－機械間信号伝達の高品質・高効率化により、人間と機械の親和性

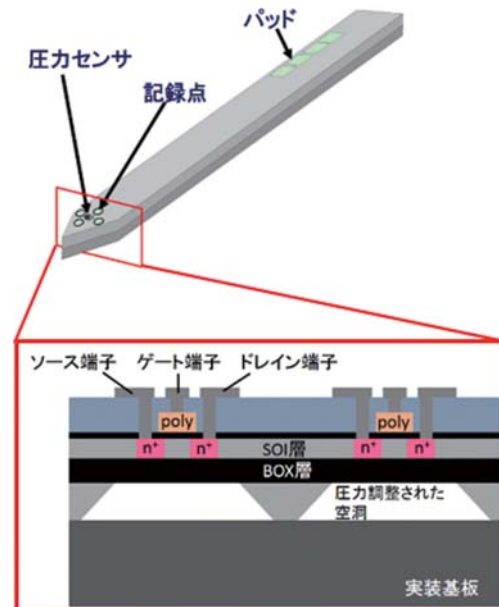


図2 高感度圧力センサ集積脳神経プローブの模式図

を向上させ、脳神経プローブによる脳深部刺激療法の治療効果増大や脳機能解析の深化に大きく貢献する。

[研究の内容、成果]

本研究では結晶ひずみによる半導体素子の特性変動を応用した高感度圧力センサの試作、およびダイアフラム構造を有する脳神経系信号取得シリコンプローブの試作を行った。

半導体素子にひずみが加わるとピエゾ抵抗効果により電気抵抗が変化する。特にバルク半導

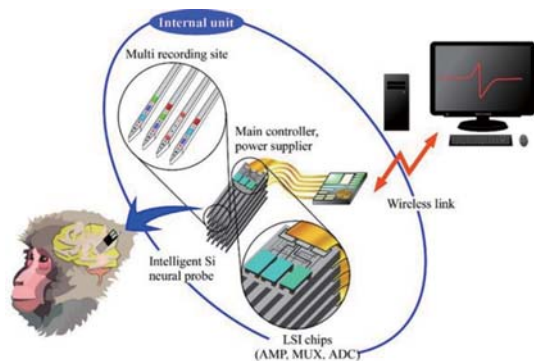


図1 高感度圧力センサ集積脳神経プローブシステムの概要図

体ではなく Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET) に形成された反転層にひずみを与えると反転層内のサブバンド構造の変化により通常のピエゾ抵抗効果以上の電気抵抗変化が生じる^{[1],[2]}。本研究ではピエゾ抵抗素子以上の高感度圧力センサを試作した。試作方法は次のとおりである。まず、MOSFET が形成された IC チップを $30\text{ }\mu\text{m}$ まで薄化する。その後、凹凸形状を形成した Si 基板上に薄化した IC チップを接合する。基板の凹部と薄化 IC チップで囲まれた空間内外の差圧により薄化 IC チップには曲げ応力が発生する。この曲げ応力により単結晶 Si にひずみが発生し、MOSFET の駆動電流が変化する。この駆動電流の変化を測定することで圧力変化を測定することが可能となる。本研究では凹部と薄化 IC チップで囲まれた空間にエポキシ樹脂を注入することで差圧を発生させ、MOSFET の駆動電流の変化を測定した。

観測した駆動電流の特性変動を図 1 に示す。図に示すようにエポキシ樹脂の注入前後で駆動電流が変化している様子が観測される。この増加量から Split-CV 法を用いて移動度の変化量を導出すると 14% 増加していることが判明した。このときの薄化 IC チップに印加されている曲げ応力を測定するためにラマン分光法による分析を試みた。結果、装置の測定可能下限値以下であり、多くのラマン分光装置の下限である 200 MPa 以下の曲げ応力であることが判明した。仮に 200 MPa の応力が Si に印加されていると想定した場合、Si の $\langle 110 \rangle$ 方位のヤン

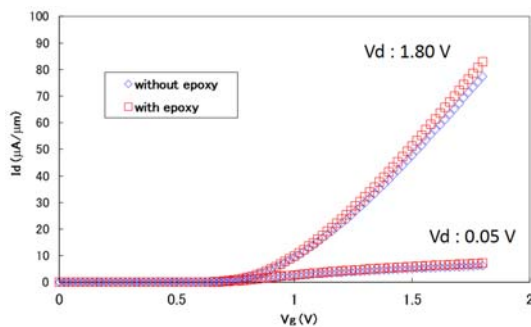


図 3 エポキシ注入前後での MOSFET の駆動電流特性変動

グ率は 169.7 GPa であるのでフックの法則より Si の歪み量は 0.117% と求まる^{[3],[4]}。以上から本研究で試作した圧力センサはゲージ率 120 以上であることが判明し、一般の半導体ピエゾ抵抗型圧力センサのゲージ率 100 と比較すると本研究で試作した圧力センサが非常に高感度であることが確認できた。

本研究では実際に圧力センサを集積のためのダイアフラム構造を有する脳神経系信号取得シリコンプローブを試作した。作製は神経信号記録用の電極を形成した Si 基板を薄化し、凹部が形成された Si 基板上に接合後にプローブ形状に加工した。

試作したシリコンプローブの光学顕微鏡写真および断面 SEM 写真を図 4 に示す。図に示すようにシリコンプローブ内部に空洞が存在し、ダイアフラム構造を有していることが確認できる。この空洞内の圧力は調整可能であるため状況に応じた測定感度を有する圧力センサを搭載することが可能である。

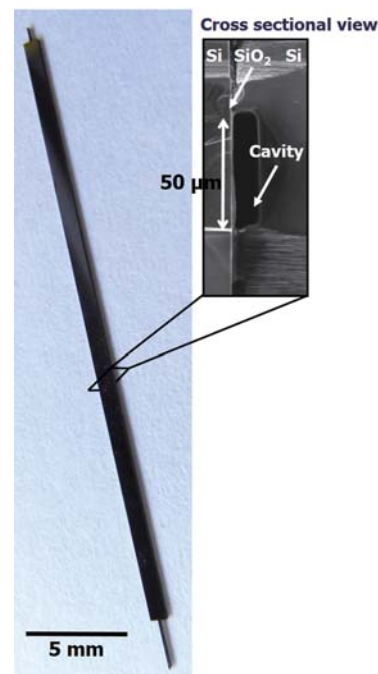


図 4 ダイアフラム構造を有するシリコン神経プローブ

[今後の研究の方向, 課題]

本研究により, ピエゾ抵抗素子以上の感度を有する高感度圧力センサを集積した脳神経系信号取得シリコンプローブの基盤技術が確立された。確立した基盤技術により生体内圧と脳神経系信号を同時記録可能なシステムを構築可能となった。今後は実際に圧力センサを有する脳神経系信号取得シリコンプローブを試作し, 医用生体工学や神経生理学の研究者と共に生体活動と体内での圧力変動及び生体信号との関係を解明する。

[参考文献]

- [1] M. Rashed, W. K. Shih, S. Jallepalli, T. J. T. Kwan and C. M. Maziar, Tech. Dig. Int. Electron Devices Meet., pp. 765-768 (1995).
- [2] 高木信一, 応用物理, 第 74 巻, 第 9 号, pp. 1158-1170 (2005).
- [3] W. A. Brantley, J. Appl. Phys. Vol. 44, pp. 534-535 (1973).
- [4] H. J. McSkimin, et al., Phys. Rev. Vol. 83, p. 1080 (L) (1951).

[成果の発表, 論文等]

種々の国際会議および論文誌での発表を予定している。