

ハイドロゲルを用いたフレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス作製

○高橋 則之¹、煤孫 祐樹²、木野 久志³、田中 徹^{2,4}、福島 誉史²

(1. 東北大学、2. 東北大学院工、3. 東北大学際研、4. 東北大学院医工)

○Noriyuki Takahashi¹, Yuki Susumago², Hisashi Kino³, Tetsu Tanaka^{2,4}, and Takafumi Fukushima²

(School of Engineering¹, Graduate School of Engineering², FRIS³,

Graduate School of Biomedical Engineering⁴, Tohoku Univ.) E-mail: link@lbc.mech.tohoku.ac.jp

1. 緒言

近年、無機単結晶半導体の性能と有機基板の柔軟性を融合したフレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス (FHE) の研究が注目されている。我々は、無機単結晶半導体チップを有機基板に埋め込んだ新構造 FHE の研究に取り組んでいる[1]。チップを極薄化せずともウェアレベで高集積なフレキシブルデバイスシステムが作製可能である。PDMS を基板として用い、曲率半径 5mm 以下で 1,000 回以上の繰り返し曲げ耐性を実現させている[2]。

フレキシブルデバイス用の基板として PET やポリイミドが主流であるが、柔軟性はあるものの立体的な形状に対する追従性が低い。PDMS はこの問題を解決できる生体適合性の高い材料であり、ウェアラブルやインプラントデバイスなどの研究開発で広く利用されている。ところが、物質の透過性が低いため、肌に対する馴染みや、体内に埋め込む際には組織液の循環を妨げる課題が残る。ここでは我々の身体のように水を主成分とするハイドロゲルを PDMS の代わりに用い、高集積なフレキシブルデバイスの基板として採用する (Fig.1)。ハイドロゲルは、コンタクトレンズにも使われる機能性高分子である。多くの水を含むゼリー状のハイドロゲルでは、昇温プロセスや真空プロセスを適用できない。これまで導電性高分子として知られる PEDOT を使った電極をハイドロゲル上に形成した先駆的な研究[3]はあるが、微細な金属配線を形成した報告は無い。我々は、Fig.1 に示すように、この加工が難しいハイドロゲルにチップを埋め込み、チップ間を高密度な配線で接続してシステム化することに挑戦する。本研究では、チップ内蔵 FHE を医用デバイスに応用するため、ハイドロゲル上にウェアプロセスを使って微細配線の形成を検討した。

2. 実験

サンプルの作製方法を Fig. 1 に示す。まず、Si ウェハ上に犠牲層として厚さ 1 μ m の水溶性高分子を成膜した。次いで、絶縁層として厚さ 1 μ m パリレンを成膜し、ドライエッチングによって抵抗測定用のホールを形成した。その後、スパッタによって Ti/Au を 15/500nm 成膜し、フォトリソグラフィとウェットエッチングにより配線を形成した。保護膜として再度厚さ 1 μ m のパリレンを成膜し、波長 172nm のエキシマランプによって表面を親水化した後、ハイドロゲル原料を注型した。続いて石英ガラスで圧縮成型すると同時に、波長 340nm の紫外線でハイドロゲルを硬化させた。最後に 60℃の温水中でウェハからサンプルを剥離した。チップ接合する場合は、ハイドロゲルの注型前に行う。

3. 結果、および考察

犠牲層である水溶性高分子の上にパリレンを介してスパッタにより Ti/Au を堆積させた結果、平坦な金属薄膜を

得るには、成膜温度が大きく影響することが分かった (Fig.2 ab)。水溶性高分子のガラス転移温度以下にスパッタ温度を制御することによって平滑な金属薄膜が得られた。スパッタ後、ハイドロゲルを注型、硬化し、温水中で剥離した後の写真を Fig.2c に示す。この写真は微細加工する前の写真であるが、剥離後も金属薄膜をハイドロゲル上に保持することが可能であった。今回はチップ実装工程を省略して配線形成工程に焦点を充てているが、この RDL-First FOWLP と呼ばれる先端の半導体パッケージング技術を応用し、微細な配線を有し、無機単結晶半導体チップがハイドロゲルに内蔵された FHE を作製できる可能性が示唆された。発表当日には、ハイドロゲル上の微細配線形成とその電気特性を報告する。

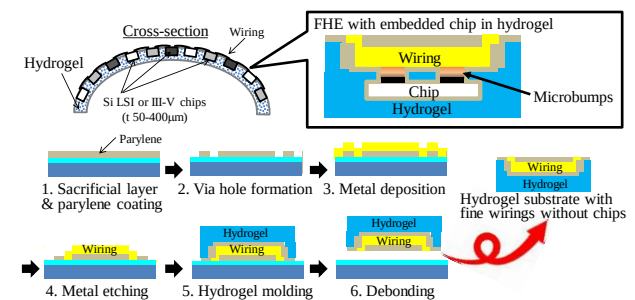


Fig 1. Conceptual schematic of FHE with embedded chips in hydrogel and the fabrication process using RDL-First FOWLP

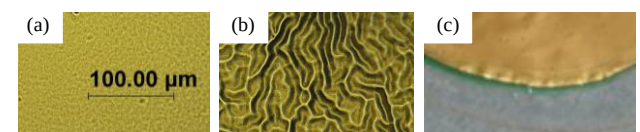


Fig 2. Photos of a Ti/Au thin film deposited on a sacrificial layer (a and b) and transferred onto a hydrogel substrate (c).

4. まとめ

水を主成分とするハイドロゲル上にウェアレベで微細配線を形成しチップを内蔵するプロセスを提案した。犠牲層上に配線形成後、ハイドロゲルを圧縮成型して剥離する手法によりハイドロゲル上にウェアレベで微細な金属配線を形成でき、今後の高集積医用デバイスへの応用が可能である見通しを得ることができた。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K18841、および公益財団法人天野工業技術研究所を用いて行われた。

参考文献

- [1] T. Fukushima *et al.*, *IEEE Trans. CPMT*, vol. 8, pp.1738-1746, 2018.
- [2] 煤孫ら, 第 65 回応物春季学術講演会予稿集, pp.512, 2018, 煤孫ら, 第 79 回応物秋季学術講演会予稿集, pp.465, 2018.
- [3] S. Sekine *et al.*, *J. AM. CHEM. SOC.*, vol.132, pp.13174-13175, 2010.