

# Smart Skin Display の要素技術研究 III: 銅ピラーのアセンブリによる TXV 形成とフレキシブル配線の細線化 Integration Technology for Smart Skin Display III:

## Fabrication and Characterization of Through-X Via (TXV) by Cu Pillar Assembly

篠田 敦志<sup>1</sup>, 煤孫 祐樹<sup>2</sup>, 劉 暢<sup>2</sup>, 星 匡朗<sup>2</sup>, 申 家屹<sup>2</sup>, 木野 久志<sup>3</sup>, 田中 徹<sup>2,3</sup>, 福島 誉史<sup>2,3</sup>

(1. 東北大工, 2. 東北大院工, 3. 東北大院医工)

°A. Shinoda<sup>1</sup>, Y. Susumago<sup>2</sup>, C. Liu<sup>2</sup>, T. Hoshi<sup>2</sup>, J. Shen<sup>2</sup>, H. Kino<sup>3</sup>, T. Tanaka<sup>2,3</sup>, and T. Fukushima<sup>2,3</sup>

(<sup>1</sup> School of Engineering, Tohoku Univ, <sup>2</sup> Graduate School of Engineering, Tohoku Univ, <sup>3</sup> Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku Univ), E-mail: link@lbc.mech.tohoku.ac.jp

### 1. 緒言

近年、有機基板を用いたフレキシブルエレクトロニクスと、Si を中心とした半導体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。その一例として、我々の研究室では、FOWLP (Fan-Out Wafer-Level Packaging) により、ミニ LED とマイクロ LED、および 3D-IC チップレットのアレイをフレキシブル基板に埋め込んだ生体情報の取得・解析・血管表示が可能な Smart Skin Display を提案した[1][2]。この新構造 FHE に必須なヘテロ集積化には、フレキシブル樹脂基板の表裏を接続する貫通配線 Through-X Via (TXV, ここで X は PDMS やハイドロゲル、フレキシブルエポキシ等を指す) を形成する必要がある。我々はこれまでに微細な銅ピラーのアセンブリと FOWLP を用いて TXV 形成の初期検討を行った[2]。しかし、フレキシブル配線の微細化、歩留り、銅ピラーの酸化による抵抗の増加等が課題となった。本研究では Smart Skin Display に適用可能な TXV の形成と細線化、および良好な電気特性を得るためのプロセス構築に取り組んだ。

### 2. 実験

評価試料の作製方法を図 1 に示す。まず、第一支持基板として Si ウエハ上に熱剥離テープ A を貼り、直径 300  $\mu\text{m}$ 、高さ 300  $\mu\text{m}$  の銅ピラーをダイボンダーでアセンブリして仮接着を行い、アンカー層[3]のパリレン 200 nm を蒸着した。次に、第二支持基板として Si ウエハ上に剥離温度の高い熱剥離テープ B を貼り、第二支持基板上にフレキシブルエポキシを滴下した。その後、第一支持基板を第二支持基板上に重ね、フレキシブルエポキシを圧縮成形し硬化した。加熱により熱剥離テープ A を剥離させた後、その上に Ti 15 nm, Au 500 nm をスパッタし、フォトリソグラフィとウェットエッチングにより表面配線を形成した。続いて熱剥離テープ C を貼った Si ウエハに試料全体を反転して接着し、熱剥離テープ B を熱剥離した。表面配線と同様に裏面配線を形成し、最後に熱剥離テープ C を剥離し、TXV を介して表裏面を接続するフレキシブル配線を形成した。

### 3. 結果と考察

配線幅 75  $\mu\text{m}$  で接続された TXV の写真を図 2 に示す。また、厚さ 300  $\mu\text{m}$  のフレキシブルエポキシ基板に内蔵した 2 本の銅ピラーから構成される TXV を含む表裏フレキシブル配線の I-V 特性の結果を図 3 に示す。この図から、フレキシブルエポキシ基板に埋め込まれた 2 本の TXV を介して得られた両面配線の電流と電圧は線形関係にあり、オーミックな接続が得られた。銅ピラー表面の酸化物はクエン酸処理により除去しているため、配線抵抗が理論値より僅かに高い原因は、銅ピラーと配線の接触抵抗によるものと考えられる。また、発表では作製した TXV を有する両面配線の繰り返し曲げ耐性の評価についても述べる。

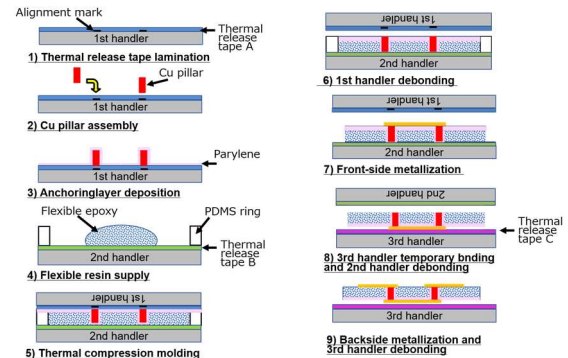


Fig. 1 Fabrication flow for TXV & double-layer flexible wires.

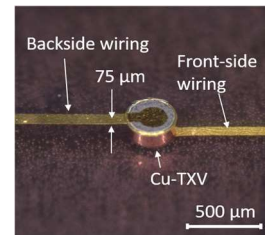


Fig. 2 A photo of a double-layer flexible wire with a TXV.

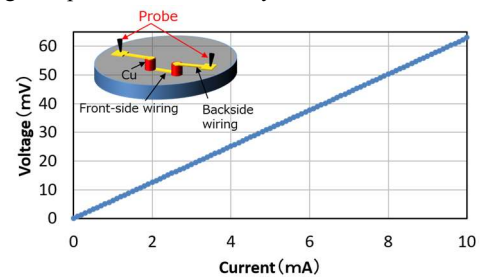


Fig. 3 I-V characteristics of TXV & double-layer flexible wire.

### 4. まとめ

両面電極 LED の使用等を想定し、高度にヘテロ集積した FHE の実現のため、微細銅ピラーのアセンブリによりフレキシブルエポキシ基板を貫通する配線 TXV を形成した。密着性の課題等を解決して線幅 75  $\mu\text{m}$  の細線化に成功し、柔軟な両面配線が得られた。現在、銅ピラーの寸法は直径 60  $\mu\text{m}$  まで微細化できる。今後はより狭ピッチなフレキシブル配線の形成を目指して TXV の研究を行う。

### 謝辞

本研究の一部は科研費 19KK010, 21H04545, 22K18291 を用いて行われた。また、本研究は、東京大学 VDEC の活動を通して、日本ケイデンス株式会社の協力で行われた。

### 参考文献

- [1] Y. Susumago and T. Fukushima *et al.*, Proc. IEEE ECTC, pp. 34-39 (2021).
- [2] 荒山ら, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, p. 11-063 (2021).
- [3] T. Fukushima *et al.*, IEEE T-CPMT, 10, 1419-1422 (2020).