

Smart Skin Display の要素技術研究 I Cu めっき直接接合を用いたマイクロ LED と 3D-IC の常温積層

◦煤孫 祐樹¹, 星 匡朗¹, 劉 暢¹, 申 家屹¹, 篠田 敦志², 木野 久志³, 田中 徹^{1,3}, 福島 誓史^{1,3}

(¹ 東北大院工, ² 東北大工, ³ 東北大院医工)

◦Y. Susumago¹, T. Hoshi¹, C. Liu¹, J. Shen¹, A. Shinoda², H. Kino³, T. Tanaka^{1,3}, and T. Fukushima^{1,3}

(¹Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., ²School of Engineering, Tohoku Univ., ³Graduate School of Biomedical Engineering, 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、チップを有機基板に埋め込むファンアウトウエハレベルパッケージング (FOWLP) を利用した新構造 FHE の研究に取り組んでおり、マイクロ LED を積層した 3D-IC アレイを集積した Smart Skin Display を提案している [2]。一般的にマイクロ LED の接続には半田バンプや異方導電性材料を用いた熱圧着が検討されているが、薄い 3D-IC に大きな熱応力を与える高温が必要となり、狭ピッチ化も課題となっている。これらを解決するため、我々は常温で接合できる Cu めっき直接接合を提案した [2]。前回の報告では、Cu めっき直接接合の不良解析を行い、歩留りを大きく向上させた。今回、試作した IC チップに Si 貫通配線 TSV を形成し、得られた 3D-IC 上に Cu めっき直接接合によりマイクロ LED を積層した結果について報告する。

2. 実験

ビアラスト法によるダイレベルの TSV 形成プロセスを Fig.1 に示す。チップの一边は 2.5mm である。まず、仮接着剤を用いてチップを石英ウエハに固定し、チップを厚さ 40 μm まで薄化した。続いて深掘り RIE によりビアホールを形成し、CVD により側壁に酸化膜を形成した。ドライエッチングによりビアホール底面の酸化膜を除去した後、汎用スパッタによりバリアシード層を形成した。次に電解めっきによりビアホールに Cu を埋め込んだ。TSV 上にレジストをパターンニングした後、ウェットエッチングによりバリアシード層を除去した。Cu めっき直接接合を用いた 3 次元積層プロセスを Fig.2 に示す。マイクロ LED の一边は 100 μm である。はじめに、3D-IC 上にバリアシード層を成膜した。その後、部分的にバリアシード層を除去した。これは最終工程でバリアシード層の除去不良を防止する目的で行っている。続いて感光性樹脂をスピニングし、フォトリソグラフィにより開口した。続いて、ダイボンダーによるマイクロ LED の仮接着とウエハボンダーによる追加圧を行った。電解めっきにより Cu を成長させ、3D-IC の TSV とマイクロ LED の電極を半田レスで接続した。最後に感光性樹脂の剥離とシード層のエッチングを行い、プローバを用いて電気的特性を評価した。

3. 結果と考察

Fig. 3(a) は 3D-IC 上に積層されたマイクロ LED の顕微鏡画像である。薄く脆い 3D-IC 上にクラックなどの損傷なくマイクロ LED を積層することに成功した。さらに Fig. 3(b) は 3D-IC 上で発光するマイクロ LED の顕微鏡写真である。マイクロ LED は接合後も劣化なく動作した。このことから半田を用いず、電解めっきにより常温で 3D-IC とマイクロ LED アレイの一括接合に利用できることを実証した。

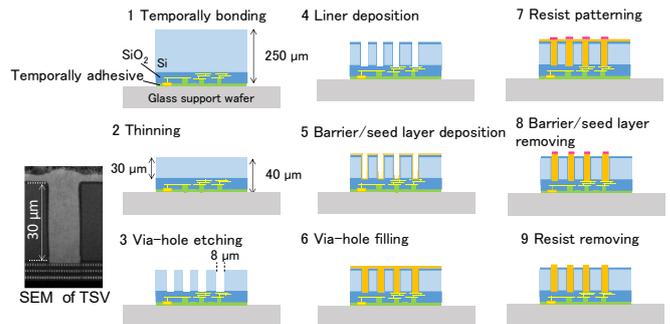


Fig. 1. A process flow of die-level TSV formation.

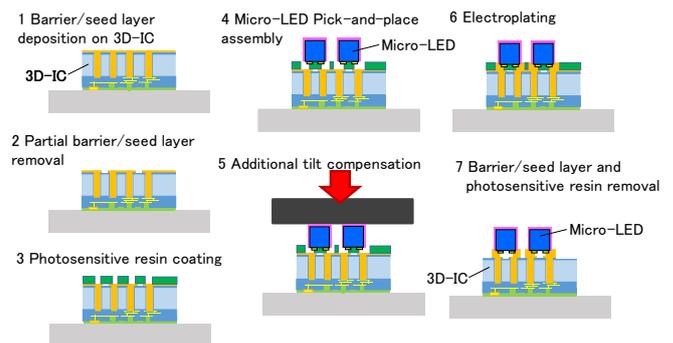


Fig. 2. A process flow of room-temperature Cu direct bonding.

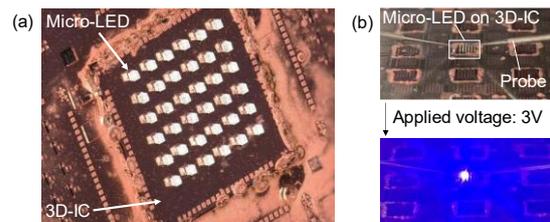


Fig. 3. A photomicrograph of a micro-LED array stacked on a thin 3D-IC (a) and the luminescence behavior of the micro-LED (b).

4. まとめ

常温で微小なチップを一括接合することが可能な Cu めっき直接接合により、薄く脆い 3D-IC 上にマイクロ LED を積層することができた。積層後のマイクロ LED は劣化なく動作し、Smart Skin Display 実現への可能性を示した。

謝辞

本研究の一部は、科研費 21H04545、立石科学技術振興財団 研究助成(C) (2217006)、および JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2144 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ものである。

参考文献

- [1] 煤孫ら, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 11-063 (2021)
[2] 煤孫ら, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 11-116 (2022)