

FOWLP によるフォトバイオモジュレーション用 FHE デバイスの開発 Development of FHE Devices for Photobiomodulation Using FOWLP

°星 匡朗¹, 小田島 肇², 煤孫 祐樹², 荒山 俊亮¹, 木野 久志³, 田中 徹^{2,3}, 福島 誉史^{2,3}

(1. 東北大工、2. 東北大院工、3. 東北大院医工)

°T. Hoshi¹, T. Odashima², Y. Susumago², S. Arayama¹, H. Kino³, T. Tanaka^{2,3}, and T. Fukushima^{2,3}

(¹ School of Engineering, Tohoku Univ., ² Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., ³ Graduate 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、LSI チップを有機基板に埋め込むファンアウト型ウエハレベルパッケージング(FOWLP)を利用した新構造 FHE の研究を展開してきた[1]。現在、低出力の光照射により細胞内の化学変化を促進し、痛みの緩和、炎症の抑制、組織再生などの効果をもたらすフォトバイオモジュレーションに応用した FHE デバイスの開発に取り組んでいる。フォトバイオモジュレーションの概要を Fig. 1 に示す。ミトコンドリアの内膜に存在するシトクロム c オキシターゼが近赤外(NIR)光を受光すると結合していた一酸化窒素が解離する。これにより細胞呼吸が増加し、アデノシン三リン酸(ATP)合成が促進され光治療等の効果をもたらす。本稿では、NIR-LED チップを利用したフォトバイオモジュレーションを用い、短期間での歯科矯正と褥瘡等の慢性創傷の治療を目的とした FHE デバイスをそれぞれに適した二通りの FOWLP により試作したので、その結果を報告する。

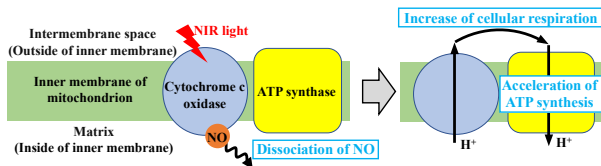


Fig. 1 Mechanism of photobiomodulation using NIR.

2. 実験

歯科矯正 FHE の基板にはマウスピース等で用いられる PDMS、創傷治療 FHE には組織液の循環を妨げないハイドロゲルを採用した。前者を Chip-first、後者を Chip-last と呼ぶ FOWLP により作製した。熱圧着によるチップの接合を用いずに PDMS と集積化できるのが Chip-first 法の特長である[1]。一方、ハイドロゲルの主成分は水であり、昇温や真空プロセスは適さないため、ハイドロゲルでは Chip-last 法を採用している[2]。また、高密度配線を形成しやすい利点が Chip-last 法にはある。両プロセスフローを Fig. 2 に示す。前者の仮接着層には熱剥離テープ、後者にはレーザー剥離型のスピンオン材料を使用した。前者のチップ配置と後者のチップ熱圧着にはフリップチップボンダーを用いた。使用した NIR-LED は、Light Avenue 製 LA NI14HP1 であり、チップサイズ、厚さ、中心波長は、0.34mm、0.27mm、850nm である。いずれもウエハレベル圧縮成型で基板に埋め込み、スパッタにより堆積した Au 薄膜をファンアウト配線とした。歯科矯正用デバイスでは、作製されたシート状 FHE をマウスピース型に再成型することで三次元形状のインモールド FHE とした[3]。

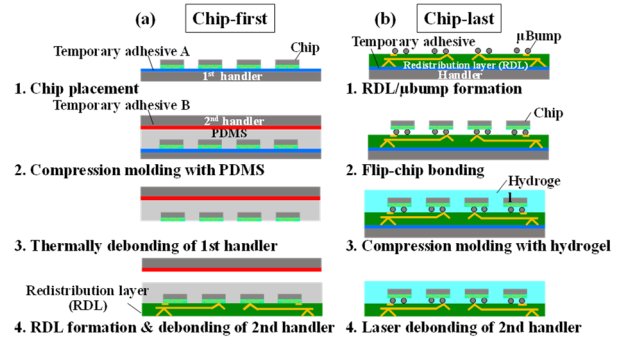


Fig. 2 Fan-Out Wafer-Level-Packaging (FOWLP) processes.

3. 結果と考察

Chip-first による FOWLP 技術により PDMS に埋め込み、ファンアウト配線で接続した NIR-LED チップの I-V 特性を図 3 に示す。Chip-first 法では、圧縮成型により PDMS と同一平面上に露出された NIR-LED チップの電極面にファンアウト配線を直接接続しており、埋込前後でベアチップと同等の出力特性が得られていることが分かる。さらに立体的な圧縮成型を行うことにより、特性を損なうことなく、曲率半径 20mm の局面に集積されたインモールド FHE を作製することができ、NIR-LED アレイを発光させることに成功した。当日の発表では、Chip-last 法で得られたハイドロゲル FHE デバイスの特性も議論し、フォトバイオモジュレーション効果についても言及する。

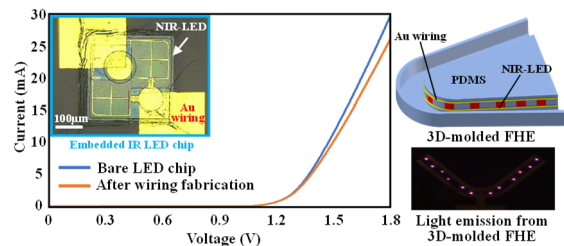


Fig. 3 I-V properties of NIR-LED before/after embedment.

4. まとめ

本研究では、FOWLP 技術を利用し、フォトバイオモジュレーション用 FHE デバイスの提案と試作を行った。用途に応じて、Chip-first と Chip-last、PDMS 基板とハイドロゲル基板を使い分け、今後の低出力光治療デバイスの高集積化に貢献できる見通しを得ることができた。

謝辞 本研究の一部は科研費 19KK0101、21H04545、および金型技術振興財団研究助成を用いて行われた。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] T. Fukushima et al., *IEEE Trans. CPMT*, **8**, 1738 (2018).

[2] 高橋ら, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, p.11-271 (2020).

[3] 小田島ら, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, p.11-049 (2021).