

チップ内蔵フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクスの電気特性評価

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

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

◦Yuki Susumago¹, Qian Zhengyang¹, Noriyuki Takahashi², Hisashi Kino³, Tetsu Tanaka^{1,4}, and Takafumi Fukushima¹

(¹Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., ²School of Engineering, Tohoku Univ., ³FRIS, Tohoku Univ.,

⁴Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku Univ.)

E-mail: link@lbc.mech.tohoku.ac.jp

1. 緒言

近年、無機単結晶半導体素子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。一般的な FHE では極薄化した Si チップを有機基板に実装する。単結晶 Si でも厚さ 50 μm 以下で柔軟性を発現してくることは知られているが、薄化することによるデバイス特性の変動が懸念されている[1]。また、小さい曲率の繰り返し曲げに対する長期信頼性は十分とは言えない。我々は、先端の半導体パッケージング技術を応用し、厚さ 100 μm の硬い単結晶 Si チップを有機基板に内蔵させ、ウェハレベルで集積化する新しい FHE の作製手法を提案した[2]。前回の発表では、有機基板上の金属配線の破断を防ぐための応力緩衝層 (SBL: Stress Buffer Layer)のヤング率が FHE の機械的耐久性に及ぼす影響について評価した[3]。また、我々はこれまでに皮膚中の血管に照射した光の反射光の変化を測定することによって脈拍を測定するリジッドな経爪型集積化光電容積脈波計測システムを提案している[4]。このシステムをチップ内蔵 FHE 技術で集積化することによって爪の曲率に追従したフレキシブルな脈波計測デバイスを作製することができる。本稿では生体適合性のポリジメチルシロキサン (PDMS)基板上に経爪型集積化光電容積脈波計測システムに用いる受光・計測回路チップを実装し、チップに含まれるフォトダイオード(PD) 及び MOS トランジスタの特性を評価した。

2. 実験

はじめにテンポラリ接着層 A を形成した第一支持 Si ウェハ上にチップを反転して接着し、別のテンポラリ接着層 B が形成された第二支持 Si ウェハを用いて生体適合性 PDMS(Silastic MDX4-4210 / Dow)を圧縮成形した。チップの大きさは 2.5 mm $\times$ 2.5 mm $\times$ 400 μm 、PDMS の厚さは 500 μm とした。デバイス面を上向きにしてチップを第二支持 Si ウェハに転写した後、PDMS の表面を波長 172 nm のエキシマ光により表面改質した。次にバリレン C を蒸着により 1 μm 成膜した後に厚さ 3 μm の生体適合性エポキシをスピン塗布して完全に平坦化した。その後、フォトリソグラフィとドライエッチングによりコンタクトホールを形成し、スパッタにより Ti 15 nm、Au 500 nm を成膜した。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、最後にチップが内蔵された PDMS を第二支持 Si ウェハから剥離した。PD への入射光は 470、540、660 nm の 3 種類、印加電圧は -3~3 V とし、それぞれの波長に対し PD に流れる電流を測定した。

3. 結果と考察

図 1 に PDMS 基板に実装した PD の波長 660 nm の入射光に対する印加電圧-光電流特性を示す。作製した FHE で光強度の変化を測定することに成功している。また、図 2 には PDMS 基板に実装する前後の PD の光強度に対する電

流値を示している。実装前後の受光感度はそれぞれ 0.0219、0.0237 A/W であり、PDMS に内蔵して再配線することによる受光感度の変化がわずかであることを示した。発表当日には MOS トランジスタの特性についても述べる。

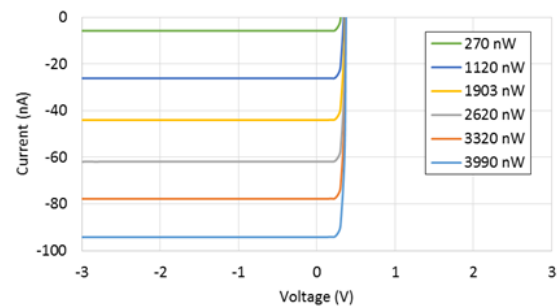


Fig. 1. I-V characteristics of photodiode on an embedded die in FHE.

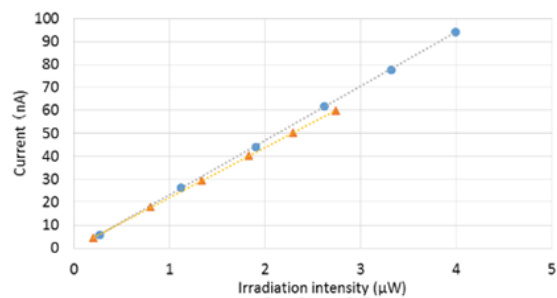


Fig. 2. Comparison of photocurrent as a function of incident light intensity of photodiodes between bare die and embedded die in FHE.

4. まとめ

柔軟な PDMS に硬い Si チップを埋め込んだ本研究のチップ内蔵 FHE では、電気的特性を変化させることなくチップをシステム集積できることを示した。今後は異種チップを実装した医用デバイスに応用していく。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K18841 及び公益財団法人金型技術振興財団の研究助成を用いて行われた。チップ設計は東京大学大規模集積システム設計教育研究センター(VDEC)を通し日本ケイデンス(株)、シノプシス(株)及びメンター(株)の協力で行われたものである。

参考文献

- [1] K. Lee, T. Fukushima, T. Tanaka, and M. Koyanagi et al., *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 34, pp. 1038-1040, 2013
- [2] T. Fukushima et al., *IEEE Trans. CPMT*, vol. 8, pp. 1738-1746, 2018.
- [3] Y. Susumago et al., 第 79 回応用物理学会春季学術講演会予稿集, pp.465, 2018.
- [4] Zhengyang Qian et al, *Jpn. J. Appl. Phys.* vol.57, 04FM11, 2018