

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18841

研究課題名（和文）高集積ハイドロゲル創製への挑戦

研究課題名（英文）Highly Integrated Hydrogel Fabrication Challenge

研究代表者

福島 誉史（Takafumi, Fukushima）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10374969

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、フレキシブルデバイスで一般的に利用されるPETやポリイミド、あるいはPDMSなどのフレキシブル基板材料をハイドロゲルに置き換え、高集積なフレキシブルハイブリッドエレクトロニクス（FHE）を創出するための要素技術の創出、およびシステム集積まで検討した。先端のウエハレベル半導体パッケージング技術を応用し、微小なLEDチップとLSIチップをハイドロゲルに埋め込んで高密度配線で接続したウエアラブルパッチを作製するために必要な技術を立ち上げることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フレキシブルデバイスに対する要求が高まっていく中で、我々はハイドロゲルを基板として用いた高集積なFHEの研究に取り組んだ。昇温や真空プロセスが使用できないため、これまで水を主成分とするハイドロゲルにチップを実装したり、配線を形成するのは困難であった。ハイドロゲルは、PDMSと同等以上の柔軟性を持つばかりでなく、物質透過性が高いため、汗などで蒸れることなく、体内でも組織液の循環を妨げる危険性は少ない。我々はこのハイドロゲルに高集積なシステムを作製するため基礎技術を立ち上げ、新世代のウエアラブルデバイスやインプラントデバイスの作製に対して大きな可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：A new flexible hybrid electronics (FHE) methodology using advanced RDL-first fan-out wafer-level packaging (FOWLP) technologies with chipleths and hydrogel substrates is proposed. Hydrogels mainly consisting of water have excellent biocompatibility, high adaptability, and substance permeability, and they are expected for biomedical applications. In this work, we integrate Si LSI and mini-LED chipleths in a hydrogel substrate on which fine-feature Au interconnections are formed in wafer-level processing. We characterize their electrical properties of the embedded dielets for biomedical applications.

研究分野：半導体パッケージング

キーワード：ハイドロゲル フレキシブルデバイス ウエハレベルパッケージング 生体適合性 チップレット マイクロLED

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

1965年に提唱された Moore の法則に従い、電子デバイスは Si 半導体を中心に莫大な学術体系を築き上げた。最近では、立体トランジスタ (FinFET) や化合物半導体を中心に More Moore、Si 貫通配線 (TSV) を用いた異種チップの三次元集積を中心に More Than Moore に関連する学問が発展し、無機単結晶半導体の学術体系はさらに拡大している。一方、有機半導体は、プリント配線技術とともに新たにフレキシブルデバイスの学術領域の立ち上げに成功し、性能面では Si 半導体には及ばないものの、安価で軽く薄い柔軟な電子デバイスに関する学術の進展に大きく貢献してきた。

2. 研究の目的

本研究では、硬い無機単結晶半導体を用いたフレキシブルデバイスの新しい学術領域を開拓する。Si チップを薄くすれば柔軟になることは知られている。しかし、繰り返しの曲げ応力に耐えられる機械的強度や電気的特性の保持、小さい曲率半径に対する追従性の観点から最適な方法とは言えない。ここでは、厚さ 50 μm 以上の無機単結晶半導体チップを高分子基板に内蔵させ、この硬いチップを曲げずに、チップ間の柔軟な高分子と配線を曲げて目的のフレキシブルデバイスを創る。従来の有機半導体を用いたフレキシブルデバイスに比べ、無機単結晶半導体チップを採用できるので、劇的な性能・機能の向上と高密度配線による高い集積度が期待できる。このように新たなフレキシブルデバイス集積の方法論を創出し、異種デバイスシステム的设计から、素子、材料、加工技術に至るまで分野横断的な工学の発展に貢献することを目指す。特に本研究では、主成分が水であるハイドロゲル基板に高集積な無機単結晶半導体システム (FHE: フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス) を構築するための探索研究を遂行する。Table 1 にハイドロゲル基板の有用性を他のフレキシブル基板材料とともに示す。

Table 1 フレキシブル基板材料の比較

Material	PET	PI	PDMS	Hydrogel
Cost	○	×	△	△
Adaptability	△	△	○	○
Bio-compatibility	×	△	△	○
Permeability	×	×	×	○
T_g	50 °C	>350 °C	-123 °C	-

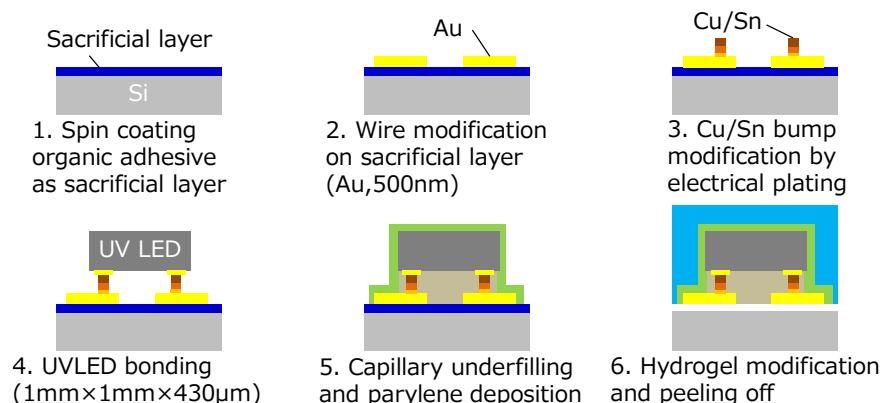


Fig. 1 Process flow of FHE based on RDL-first FOWLP.

3. 研究の方法

Fig.1 に高集積ハイドロゲル FHE の作製方法を示す。まず、支持基板である Si ウェハ上に犠牲層として厚さ 1 μm の仮接着剤を塗布した。次いで、スパッタによって Ti/Au (厚さ 15/500nm) を成膜し、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。その後、電解めつ

きを用いて Cu/Sn バンプ(高さ 3 μ m/2 μ m)を形成した。続いて、波長 265nm の UV-LED をフリップチップ接合によりバンプを介して支持基板と電気的に接続した。アンダーフィル後、絶縁膜として厚さ 1 μ m のパリレンを成膜した。その後、パリレン上にシランカップリング処理を施し、ハイドロゲルとの密着性を向上させたのち、ハイドロゲル前駆体を注型し、室温で熱硬化した。最後に犠牲層を溶解剥離し、支持基板から Au 配線をハイドロゲルへと転写した。

4. 研究成果

エキシマランプとシランカップリングの表面処理ハイドロゲル/パリレン、パリレン/Au 間の密着性に与える影響を評価した。表面改質したサンプルでは、表面改質していないサンプルよりも高い密着性を示した。ASTMD 3359-87 による密着性は表面処理を施したサンプルでクラス 5B と最も高いランクに分類された。また、パリレン表面に真空紫外光 (VUV) で親水化処理してビニル基を付与することによってパリレンとアクリルアミド系ハイドロゲル間の密着性を著しく高めることができた。また、パリレン/Au 間では、表面処理なしでも良好な密着性を示した。ハイドロゲル上に形成した線幅の異なる配線の写真とその拡大図を Fig. 2(a)(b)に示す。線幅 100/50/20/10 μ m の 4 種類の Au 配線を作製し、曲率半径 40mm で曲げ試験を行い、四端子測定法により配線抵抗を測定した。100 回の繰り返し曲げの後も、抵抗値がほぼ変化しないことが確認できた。この結果から、提案手法でハイドロゲル上へ Au 配線を転写することによって、柔軟な配線として機能することが確認できた。チップをハイドロゲル基板に埋め込んでチップ面外に再配線 (fan-Out 配線と呼ぶ) を形成した写真を Fig.2(c)に示す。

ベアチップとハイドロゲル基板内に実装した UV-LED の写真を Fig.(d)に示す。この電流-電圧特性を測定したところ、作製した高集積ハイドロゲル FHE に内蔵した UV-LED がベアダイと同等の駆動することを実証できた。ベアチップと比較してわずかに電流の立ち上がりが劣化したものの、実用上問題なく LED を駆動できることを確認できた。現在、生体応用に向けて高集積なウェアラブル・ハイドロゲル・パッチを作製するための集積化応用研究を計画している。

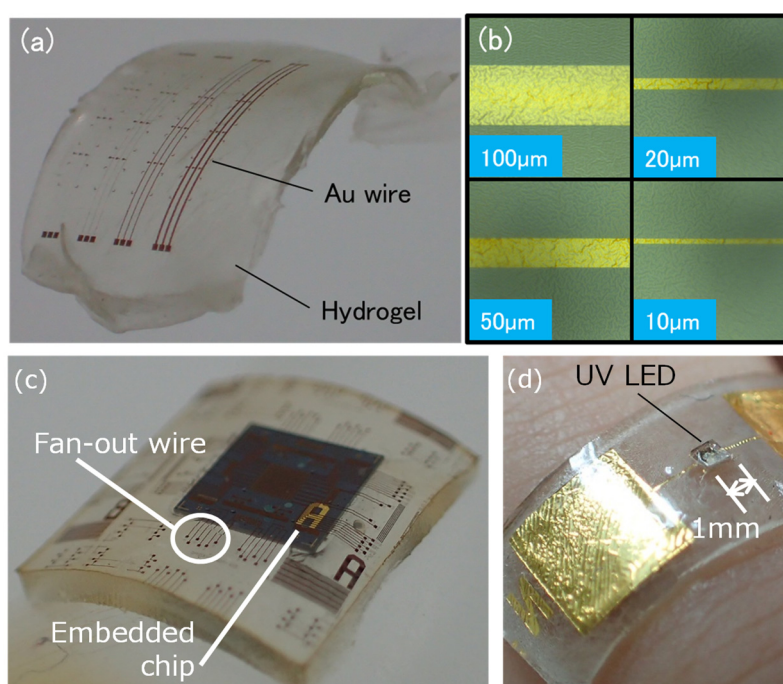


Fig. 2 A photograph (a) and photomicrographs (b) of Au wirings formed on a hydrogel and hydrogel FHE with embedded a LSI chip (c) and mini-LED (d).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 高橋 則之, 煤孫 祐樹, 木野 久志, 田中 徹 福島 誉史	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 RDL-First FOWLP技術を利用したハイドロゲルフレキシブル基板上への配線形成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 C	6. 最初と最後の頁 183-185
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 4件／うち国際学会 6件）

1. 発表者名 高橋則之, 煤孫祐樹, 木野久志, 田中徹, 福島誉史
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 煤孫 祐樹, Qian Zhengyang, 高橋 則之, 木野 久志, 田中 徹, 福島 誉史
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 煤孫 祐樹, Achille Jacqumond, 高橋 則之, 木野 久志, 田中 徹, 福島 誉史
2. 発表標題 高集積フレキシブルデバイスシステム作製のための応力緩衝層の評価
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Susumago, Achille Jacquemond, N. Takahashi, H. Kino, T. Tanaka, T. Fukushima
2. 発表標題 Mechanical Characterization of FOWLPBased Flexible Hybrid Electronics (FHE) for Biomedical Sensor Application
3. 学会等名 International Conference on Electronics Packaging (ICEP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Susumago, Achille Jacquemond, N. Takahashi, H. Kino, T. Tanaka, T. Fukushima
2. 発表標題 Mechanical and Electrical Characterization of FOWLP-Based Flexible Hybrid Electronics (FHE) for Biomedical Sensor Application
3. 学会等名 IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 先端三次元積層LSIから高集積FHEへの展開
3. 学会等名 日本学術振興会産学協力研究委員会 情報科学用有機材料 学振142委員会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 三次元実装とフレキシブルハイブリッドエレクトロニクスに(FHE)に向けた取り組み
3. 学会等名 第155回有機エレクトロニクス研究センター講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 則之、煤孫 祐樹、木野 久志、田中 徹、福島 誉史
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 則之、煤孫 祐樹、木野 久志、田中 徹、福島 誉史
2. 発表標題 RDL-first FOWLIPによるハイドロゲル用いたFHEのためのチップ内蔵技術
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Takahashi, Y. Susumago, H. Kino, T. Tanaka, and T. Fukushima
2. 発表標題 Hydrogel-based Flexible Hybrid Electronics Technology for Biomedical Application
3. 学会等名 Extended Abstracts of the 2019 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Takahashi, Y. Susumago, S. Lee, H. Kino, T. Tanaka, and T. Fukushima
2. 発表標題 RDL-first Flexible FOWLIP Technology with Dielets Embedded in Hydrogel
3. 学会等名 Proceedings of the 69th Electronic Components and Technology Conference (ECTC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takafumi Fukushima
2. 発表標題 New Flexible Hybrid Electronics (FHE) Using Advanced Wafer-Level Packaging Technology
3. 学会等名 International Congress on Advanced Materials Sciences and Engineering 2019 (AMSE-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takafumi Fukushima
2. 発表標題 New Flexible Hybrid Electronics Technologies for Biomedical Application
3. 学会等名 EMN Meeting on Flexible Electronics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	ベ ジチヨル (Bea Jichoel) (40509874)	東北大学・未来科学技術共同研究センター・准教授 (11301)	