

令和 6 年 5 月 2 日現在

機関番号：11301

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2019～2023

課題番号：19KK0101

研究課題名（和文）マルチスケール応力エンジニアリングが拓く高集積フレキシブルエレクトロニクス

研究課題名（英文）Heterogeneous System Integration of Flexible Electronics Based on Multi-Scale Stress Engineering

研究代表者

福島 誉史（Fukushima, Takafumi）

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） 14,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の高集積FHEでは、厚さ100 μm 程の微小Siチップ(チップレット)をエラストマーに埋め込み、ウエハレベルで高密度配線を形成してチップ間を接続する集積形態を採用し、フレキシブルデバイスの性能とスケラビリティを格段に高める構造を体系化する。特に、分子レベル、材料レベル、システムレベルの階層的なマルチスケール応力を有限要素法による計算と実験的検証により応力を低減し、機械的/電気的信頼性を解析してこの高集積FHEの有用性を実証する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の半導体システムのボトルネックとなっているプリント基板（フレキシブルプリント配線板を含む）の課題を克服し、システム全体としてみた性能や効率を学問として捉えた集積学の開拓が必要である。ここでは国際共同研究を通してフレキシブルデバイスシステムに要求される仕様を理解し、材料や構造、回路に反映するために必要なシステム集積学を追求する。特に、機能ブロックを分割してチップをチップレットにするSystem-Level Chip Partitioning技術は、高集積FHEの高信頼性化に非常に有益な技術となる。

研究成果の概要（英文）：The highly integrated FHE in this research adopts an integration configuration in which tiny Si chips (chipllets) about 100 μm thick are embedded in elastomers and interconnected by high-density wiring at the wafer level to systematize a structure that dramatically improves the performance and scalability of flexible devices. In particular, we will demonstrate the effectiveness of this highly integrated FHE by analyzing the mechanical/electrical reliability and reducing stress through finite element method calculations and experimental verification of hierarchical multi-scale stress at the molecular, material, and system levels.

研究分野：半導体実装工学

キーワード：フレキシブルデバイス 半導体パッケージ チップレット 応力制御 材料力学

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来のフレキシブルデバイスでは、硬い無機単結晶半導体シリコンなどで構成された集積回路チップが実装された硬いプリント基板同士を接続する部分のみが柔軟であり、その曲がる部分には硬いデバイスを実装できない。一方、アモルファス半導体や多結晶半導体に加え、デバイス自身を有機材料で作製した有機半導体は柔軟性が高く、それ自身を曲げることができ、移動度なども年々向上しているものの、その性能は無機単結晶半導体には及ばない。米国では、フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス (FHE) という研究分野が 2016 年頃に立ち上がった。そこでは、無機単結晶半導体の性能と有機基板の柔軟性を融合させたフレキシブルデバイス開発を研究対象としていた。彼らは、無機の単結晶半導体であるシリコンチップを $30\mu\text{m}$ 以下に極薄化し、硬いデバイス自体を柔軟な構造に転換するという発想でシステム全体に柔軟性を供与した。ところが、単結晶半導体自体を曲げて応力を与えることは、デバイスの特性変動を引き起こす。そのため、新しいフレキシブルデバイスの集積化技術が要求されていた。また、従来の FHE では印刷配線を使ったシートレベル、ロールレベルの加工プロセスが主流であり、微細化や高密度化に課題を抱えていた。

2. 研究の目的

本研究の高集積 FHE では、厚さ $100\mu\text{m}$ 程の微小 Si チップ (チップレット) をポリジメチルシロキサン (PDMS) のようなエラストマーに埋め込み、ファンアウト型のウエハレベルパッケージング技術を利用して高密度配線を形成してチップ間を接続する集積形態を採用し、フレキシブルデバイスの性能とスケラビリティを高める構造を提案した。ここでは、有限要素法を主とする計算と実験的手法により、この新構造 FHE にかかる機械的な応力を分子レベル、材料レベル、システムレベルの階層的なマルチスケールで解析し、低応力化を図り、機械的/電気的特性に優れた構造を導く。

3. 研究の方法

分子レベルの解析では、大型放射光施設 SPring-8 を利用し、応力緩衝層と配線の界面を対象に独自の解析を行った。曲げ応力により誘発される金属配線の格子定数変化を曲率の異なる試験片から μXRD (微小部 X 線回折) で測定した。

材料レベルの解析では、基板であるシリコーンゴムと配線である金属の熱膨張係数 (CTE) 差やヤング率ミスマッチを解消する応力緩衝層 SBL (Stress Buffer Layer) を導入した。塑性変形までの伸びを考慮しながら、応力中立軸の設計を行った。この効果をテンションフリーの繰り返し曲げ試験機で評価した。

システムレベルの解析では、フレキシブル配線の構造設計を行った。水平方向に蛇行する S 字配線が高い伸び耐性を有することは広く知られているが、配線密度は高められない。そこで三次元波状構造を導入し、垂直方向に蛇行する配線をフォトリソグラフィで作製した。前記同様、その効果をテンションフリーの繰り返し曲げ試験機で評価した。

4. 研究成果

まず、大型放射光施設 SPring-8 の μXRD により曲げ試験下の幅 $100\mu\text{m}$ 、厚さ 500nm のファンアウト Au 配線にかかる応力を解析した。チップサイズは 1mm 角、チップ間距離は 0.8mm 、チップの厚さは 0.1mm 、PDMS の厚さは 0.5mm とした。この μXRD の装置内で曲げて固定できる特殊な治具を製作し、曲げ半径 20mm で計測した。チップ間の中間に位置する Au 配線の中心、および中心から配線の長手方向と直交する向きに (配線のエッジ側に) $10\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ シフトした位置の応力を格子状数の変化から算出した。また、チップと PDMS (SBL のパリレン層が配線下には形成されている) の境界でも同様に測定した。測定ばらつきを考慮して、配線の長手方向にも $10\mu\text{m}$ ずつ間隔を空けて各位置で計 5 点の応力をプロットした。その結果、位置による明確な差は観測できていないが、いずれの場所でもおよそ $260\text{--}300\text{MPa}$ の応力がかかっていることが判明した (図 1)。この結果は、同構造を有限要素法でシミュレーションした結果で得られたフォン・ミーゼス応力約 300MPa と同程度であることが分かった。このように微小スケールでの応力を追跡することができた。

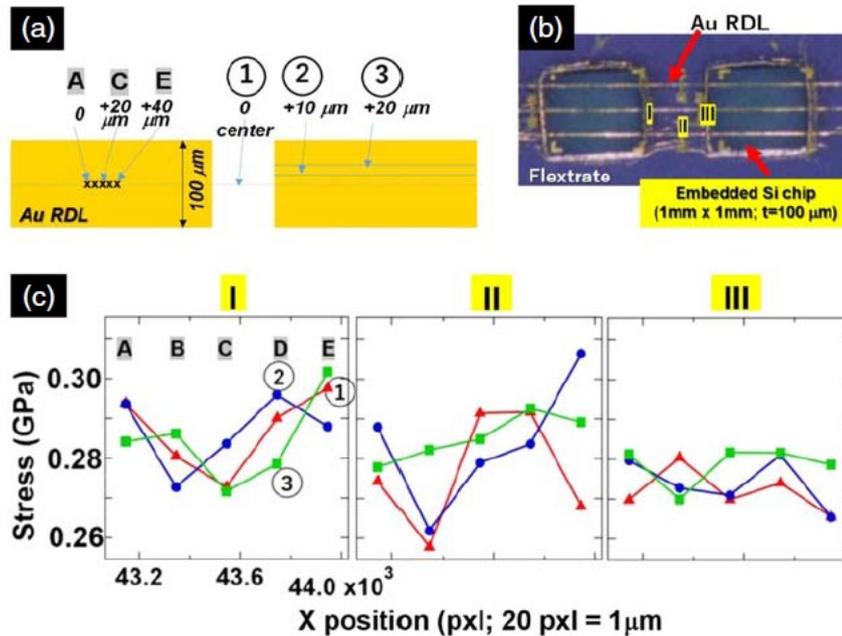


図1 (a) μ -XRD 実験に使用した位置の模式図, (b) μ -XRD 実験を行った Au 配線の光学顕微鏡写真, (c) 100 μ m 幅の Au 金属線に曲げを加えた後の異なる位置に存在する残留応力 [(I) チップ右端付近, (II) PDMS 上, (III) チップ左端付近] .

次いで、SBL の CTE とヤング率、ガラス転移温度に着目し、ポリウレタン系とエポキシ系の SBL を選定し、それらが曲げ特性に与える影響を評価した。評価試料には、厚さ 100 μ m、一辺 1mm 角の Si チップを厚さ 0.5mm の PDMS に内蔵させ、Die-first FOWLP (Fan-Out Wafer-Level Packaging) 方式で SBL 上に Au 配線を形成した (厚さ 500nm)。ヤング率が 2.3GPa と 0.9GPa のポリウレタン系 SBL を比較した結果、硬い前者の SBL の方が曲げ特性が高く、曲げ半径 10mm、曲げ速度 50rpm、基板の圧縮方向に対する曲げを負荷した測定条件下、線幅 10 μ m の Au 配線は、1,000 回以上の繰り返し曲げ試験を通過することができた (表 1、図 2)。この原因は、高い伸縮性を有する PDMS の伸びに追従して配線が受ける応力をこの硬い SBL が緩和させた結果であると考察している。一方、一般的には硬くて脆いエポキシ樹脂の構造を修飾した医療用のフレキシブルエポキシ樹脂 (ヤング率は 2GPa 程度) を採用することにより、LSI チップや一辺 0.3mm を下回る微小な LED を実装し、両者を電気的に接続することに成功した。有限要素法を用いたシミュレーションの結果では、チップサイズ 4mm を超え、チップ間隔が 0.2mm では、チップ端部の PDMS 上の配線にかかる応力が高まり、ひずみ 65%に到達したが、チップサイズを 1mm 以下に抑え、チップ間隔が数 mm まで広げるとそのひずみは 5%程度に収まること分かった。

表 1 SBL の材料物性

Material	CTE (ppm/K)	T _g (°C)	Young's modulus (GPa)
PDMS	300	-200	0.0005
Soft PU	100	50	0.9
Hard PU	70	60	2.3
Parylene C	35	90	2.76
Ti	8.4	-	106
Au	14.2	-	79
Si	3	-	190

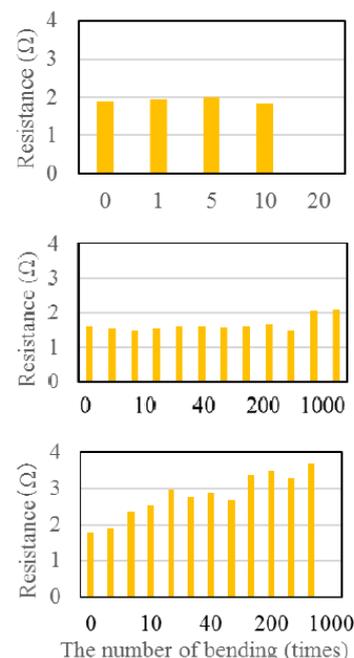


図 2 各種 SBL 材料と曲げ耐性

また、表面保護膜を使った応力中立軸の制御に取り組んだ。厚さ $7\mu\text{m}$ のパリレン薄膜を最上層のファンアウト配線上に形成することによって、テンションフリーの曲げ試験機を用いた繰り返し曲げ耐性を高められることを実験的に証明し、システムレベルの高い信頼性を得ることができた (図3)。曲げ半径 5mm 、繰り返し曲げ回数 1000 回に耐えることができたため、例えば、機械的強度の観点から、提案するマルチチップ人工網膜システムでの応用が潜在的には可能であることを示すことができた。一方、UCLA との連携に関しては、現地で議論しながら進めることが COVID-19 の影響でできなかったが、当該年度である4年目には、ようやく渡米することができ、全体のシステム設計を進めることができた。体内埋込コイルのサイズは、コイル部の直径 D と厚さ T で決まるため、体内モジュールに電力監視機能を設けて受電と消費電力の情報を眼球外モジュールにフィードバックして最適な需給エネルギーに保つ無線給電の電力制御機能を設計した。

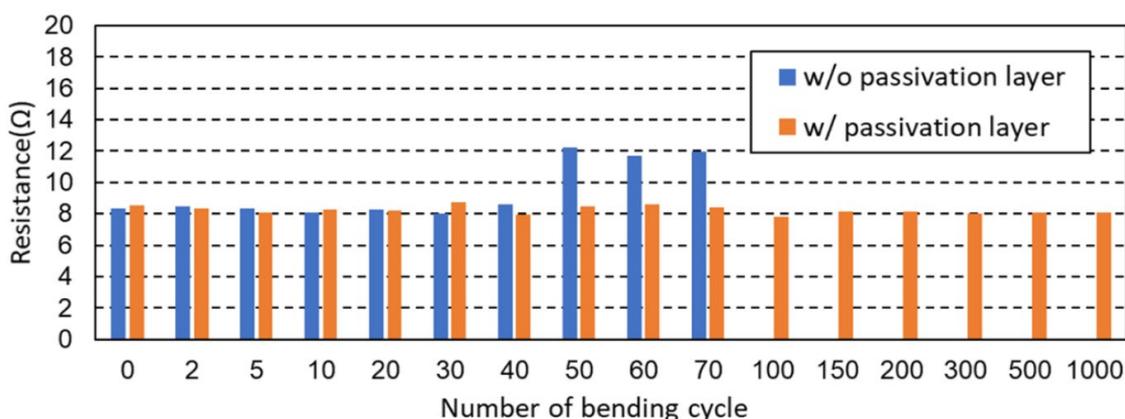
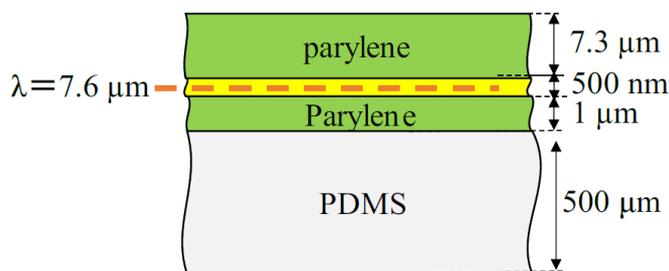


図3 応力中立軸の位置 (上) と表面保護膜がファンアウト配線の曲げ耐性に与える影響 (下)

最後に、これまで行った原子レベル、材料レベルの応力解析に続いて配線のトポグラフィーに着目しての応力解析を行った。特に埋め込みチップ間を接続するファンアウト配線の曲げに対する安定性を評価するため、材料物性学的な観点からマイクロコルゲーションの感光性材料を比較検討し、従来のSU-8に対してヤング率 (GPa) が低く、破断曲げ伸長率 (%) の高いソルダーレジスト系の樹脂を用い、三次元的な波状構造を有するAu配線の形成に成功した。また、SU-8では、断面が台形状 (Trapezoidal)、または半円状 (Serpentine) のコルゲーション構造を形成するために、大過剰な露光量やグレースケール化による検討を試みたが、いずれも所望の構造を効率よく形成することができなかった。そこで、Flexible Photosensitive Dielectric (F-PD) を用いてリソグラフィ条件を最適化したところ、希釈 TMAH を用いて理想的な半円状 (Serpentine) のマイクロコルゲーションを得ることができた。この原因は、F-PD の分子構造に起因している。露光部が架橋してもアルカリ溶液に可能な機能性の官能基を有するF-PDでは現像液に露光部・未露光部の境界で溶解したからであると考えられる。これにより、システムを構成する重要な構成要素である多層のファンアウト配線にかかる応力を、材料物性学的な観点から応力緩衝層のヤング率と応力中立軸設計を施すことによって軽減でき、且つ三次元波状構造によって僅かな伸縮性も付与することができた (図4, 図5)。これにより、低応力で高い信頼性を有する新構造フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス (FHE) の作製に資する技術を創出できたと言える。

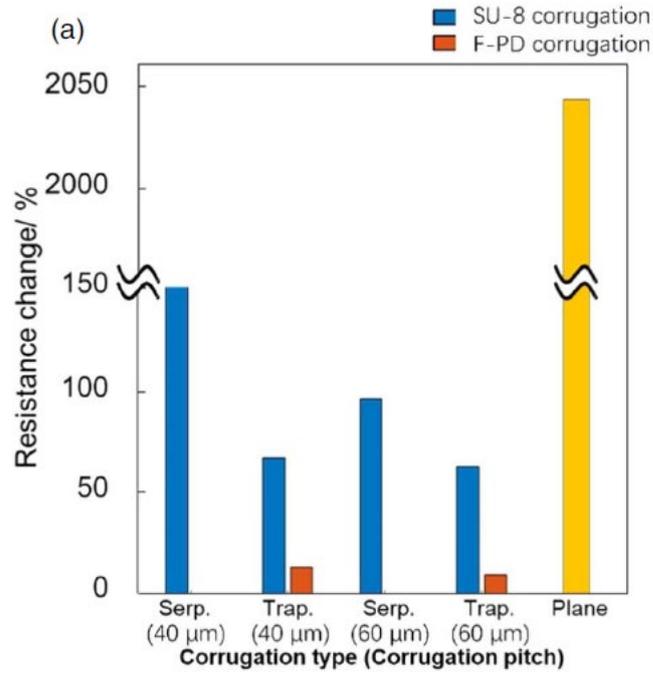


図4 三次元波状配線のマイクロコルゲーション構造（ヤング率）が曲げ耐性に与える影響

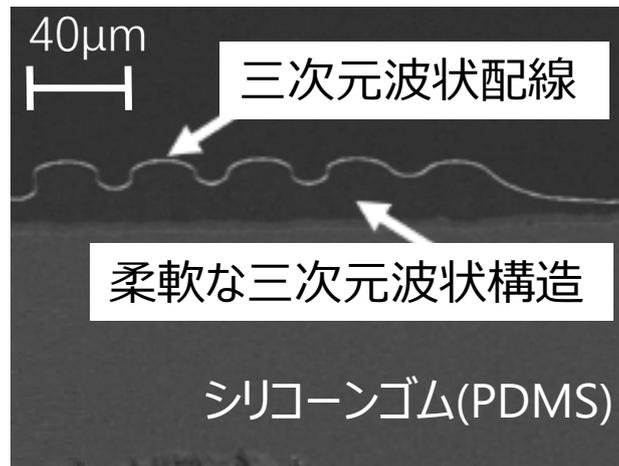


図5 PDMS上に形成した三次元波状配線の断面SEM写真

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Chang Liu, Tadaaki Hoshi, Jiayi Shen, Atsushi Shinoda, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima	4. 巻 63
2. 論文標題 Bendability Enhancement of 3D Interconnections with Out-of-plane Corrugation for Flexible Hybrid Electronics	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 04SP74 1-10
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 -

1. 著者名 M. Mariappan, Y. Susumago, K. Sumitani, Y. Imai, S. Kimura, T. Fukushima	4. 巻 60
2. 論文標題 Laue microdiffraction evaluation of bending stress in Au wiring formed on chip-embedded flexible hybrid electronics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBC02 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abdb81	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 -

1. 著者名 Takafumi Fukushima, Yuki Susumago, Zhengyang Qian, Chidai Shima, Bang Du, Noriyuki Takahashi, Shuta Nagata, Tomo Odashima, Hisashi Kino, and Tetsu Tanaka,	4. 巻 10
2. 論文標題 Significant Die-Shift Reduction and μ LED Integration Based on Die-First Fan-Out Wafer-Level Packaging for Flexible Hybrid Electronics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 1419-1422
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TCPMT.2020.3009640	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takafumi Fukushima	4. 巻 February
2. 論文標題 A new DSA technological dawn	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Impact	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/ab75b8	査読の有無 無
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28件(うち招待講演 12件/うち国際学会 18件)

1. 発表者名 C. Liu, J. Shen, A. Shinoda, H. Zhang, T. Tanaka, and T. Fukushima
2. 発表標題 3D Interconnect Technology with Serpentine and Trapezoidal Corrugation Using a Flexible Photosensitive Dielectric to Strengthen the Bendability of FHE
3. 学会等名 Proceedings of the 73rd Electronic Components and Technology Conference (ECTC 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Chang Liu, Tadaaki Hoshi, Jiayi Shen, Atsushi Shinoda, Zehua Du, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2. 発表標題 High-Bendable 3D Corrugated Interconnections for Chiplet-Embedded Flexible Hybrid Electronics Using Wafer-Level Packaging
3. 学会等名 Extended Abstracts of the 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Flexible FOWLP-based 3D Heterogeneous Integration for Biomedical/Healthcare FHE Application
3. 学会等名 Materials Research Society-Taiwan International Conference (2023 MRSTIC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Chang Liu, Tadaaki Hoshi, Jiayi Shen, Atsushi Shinoda, Zehua Du, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Tak Fukushima
2. 発表標題 High-Bendable 3D Corrugated Interconnections for Chiplet-Embedded Flexible Hybrid Electronics (FHE) Using Wafer-Level Packaging
3. 学会等名 The 4th UCLA CHIPS Workshop (CHIPS: Center for Heterogeneous Integration and Performance Scaling) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Chang Liu, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2. 発表標題 A Finite Element Study of Stretchable Corrugated Interconnections on Chiplet-Embedded Flexible Hybrid Electronics
3. 学会等名 Flex2022 (2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu Chang, Yuki Susumago, Tadaaki Hoshi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Simulation and Experimental Study of Stretchable 3D Corrugated Interconnections for Chiplet- Embedded Flexible Hybrid Electronics Using Wafer-Level Packaging
3. 学会等名 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), 715-716(2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takfumi Fukuhima
2. 発表標題 In-mold Flexible Hybrid Electronics (iFHE) Based on Holistic System Integration with FOWLP, 3D-IC/TSV, and Chiplets
3. 学会等名 The 20th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2022), Session 8. Industrial semiconductor applications (ISA), (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 新たな実装技術で創るフレキシブルデバイス「インモールド・フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス(iFHE)」
3. 学会等名 一般社団法人日本電子回路工業会 (JPCA) 主催「電子機器トータルソリューション展2022 (旧JPCA Show 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清山 浩司, 福島 誉史, 木野 久志, 田中 徹
2. 発表標題 埋込型医療機器向け無線給電の設計
3. 学会等名 2022年度 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 三次元実装 / TSV を基盤とした ヘテロインテグレーション技術の研究開発動向
3. 学会等名 2022年度 電子情報通信学会総合大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomo Odashima, Yuki Susumago, Shuta Nagata, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and T. Fukushima
2. 発表標題 Wafer-Level Flexible 3D Corrugated Interconnect Formation for Scalable In-Mold Electronics with Embedded Chiplets
3. 学会等名 Proceedings of the 71st Electronic Components and Technology Conference (ECTC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 小田島 暁, 煤孫 祐樹, 王 喆, 木野 久志, 田中 徹, 福島 誉史
2. 発表標題 チップレット内蔵インモールドエレクトロニクス用フレキシブル基板の細線化
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 Heterogeneous, 3D, & Flexible System Integration Technology Based on Chiplet-on-Wafer Assembly
3. 学会等名 電子実装工学研究所 (IMSI) 接合界面創成技術研究会 (LTB-3D 研究会 旧学振191研究会) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 Chiplet-Based Advanced Packaging Technology from 3D/TSV to FOWLP/FHE
3. 学会等名 IEEE Solid-State Circuits Society (SSCS) Kansai Chapter 主催「2021 Symposia on VLSI Technology 国内報告会」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 ホリスティック・システム・インテグレーションに向けた三次元実装の技術動向と課題
3. 学会等名 エレクトロニクス実装学会 (JIEP) 先端ファブリケーション研究会主催 第8回公開研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takafumi Fukushima, Yuki Susumago, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Die-first and RDL-first FOWLP Processing for Flexible Hybrid Electronics
3. 学会等名 IMAPS (International Microelectronics Assembly and Packaging Society) 17th International Conference on Device Packaging, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島 誉史
2. 発表標題 チップレットを基盤とした三次元集積の技術動向とフレキシブルデバイスの高集積化
3. 学会等名 システムデバイスロードマップ委員会(SDRJ)主催 2021年度第4回Beyond CMOS & More Than Moore合同委員会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Flexible In-Mold Electronics: Advanced FHE Technologies and Applications
3. 学会等名 2021FLEX(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhe Wang, Yuki Susumago, Tomo Odashima, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima
2. 発表標題 3-Color Micro-LED Integration for Flexible Display Based on Die-First Fan-Out Wafer-Level Packaging Technology
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演予稿集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 則之, 煤孫 祐樹, 王 喆, 小田島 輩, 木野 久志, 田中 徹, 福島 誉史
2. 発表標題 UV-LED内蔵ハイドロゲルフレキシブル基板を用いた殺菌絆創膏の作製と評価
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演予稿集
4. 発表年 2021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 FOWLP Technology with Dielets Embedded in Hydrogel
3 . 学会等名 The 69th Electronic Components and Technology Conference (ECTC 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Murugesan, Y. Susumago, T. Odashima, H. Kino, T. Tanaka, K. Sumitani, Y. Imai, S. Kimura, and T. Fukushima
2 . 発表標題 Evaluation of bending stress in Au-wiring formed over FHE by micro-XRD
3 . 学会等名 The 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Tomo Odashima, Yuki Susumago, Qian Zhengyang, Noriyuki Takahashi, Shuta Nagata, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2 . 発表標題 Micro-LED and PPG Sensor Integration Using Flexible Fan-Out Wafer-Level Packaging for Trans-Nail Pulse-Wave/SpO2 Monitoring
3 . 学会等名 The 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Shuta Nagata and Takafumi Fukushima
2 . 発表標題 Wafer-Level 3D Wrinkling Interconnect Formation for Scalable Flexible In-Mold Electronics
3 . 学会等名 Flex2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Noriyuki Takahashi and Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Hydrogel-Based FHE Patch Using RDL-first FOWLP for UV Sterilization
3. 学会等名 Flex2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福島誉史
2. 発表標題 先端ウエハレベルパッケージング技術による新構造FHEの開発
3. 学会等名 コンパティンクテクノロジー総合展2020「新機能性材料展」/ JFlex / 3次元表面加飾技術展 セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takafumi Fukushima
2. 発表標題 FOWLP-based Flexible Hybrid Sensor Systems with Dieletsand 3D-IC
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Microelectronics and Packaging and 21st International Conference on Electronic Materials and Packaging (ISMP-EMAP 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 Multilithic 3D and Heterogeneous Integration Using Capillary Self-Assembly
3. 学会等名 4th IEEE Electron Devices Technology and Manufacturing Conference (EDTM) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 福島誉史	4. 発行年 2024年
2. 出版社 Science & Technology	5. 総ページ数 19
3. 書名 次世代ウェアラブルデバイスに向けたフレキシブル・伸縮性エレクトロニクス技術とセンサ開発 執筆担当部分: 第2章 フレキシブル・伸縮性センサ・デバイス・システムの開発動向, 第9節 高集積フレキシブル・ハイブリッド・エレクトロニクス(FHE)技術	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 東北大学, 半導体装置の製造方法、半導体装置を備えた装置の製造方法、半導体装置、半導体装置を備えた装置	発明者 福島誉史, 田中徹, 木野久志, 煤孫祐樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/29503	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔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	マリアッパン ムルゲサン (Mariappan Murgesan) (10509699)	東北大学・未来科学技術共同研究センター・学術研究員 (11301)	
研究分担者	木野 久志 (Kino Hisashi) (10633406)	東北大学・医工学研究科・特任准教授 (11301)	
研究分担者	清山 浩司 (Kiyoyama Koji) (60412722)	長崎総合科学大学・工学研究科・准教授 (37301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	UCLA			