

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04951

研究課題名（和文）人と同じ視野角と情報処理機能を有する極低侵襲ピクセル分散型完全埋植人工網膜の開発

研究課題名（英文）Development of minimally invasive pixel-dispersive fully implantable retinal prosthesis with human-like viewing angle and information processing functions

研究代表者

田中 徹（TANAKA, Tetsu）

東北大学・医工学研究科・教授

研究者番号：40417382

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,100,000円

研究成果の概要（和文）：人と同じ情報処理機能を有する三次元積層人工網膜チップの作製、チップをフレキシブル配線で網状に高密度一括接続するTXV技術、金属配線付きフレキシブル基板の長期埋植評価等の極低侵襲ピクセル分散型完全埋植人工網膜を作製するための技術開発に成功した。この三次元積層人工網膜ピクセルチップを中心窩及びその周辺部に分散配置することにより、極低侵襲かつ160°の視野角を実現でき、患者は自身の角膜や水晶体、眼球運動を利用しながら文字や物体を高精度で認識することが可能になる。今後、数十～数百マイクロンサイズの多数のピクセルチップのフレキシブル分散接続を行い、広視野角及び眼球内埋植の検証に繋げて行く。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回開発した技術によって、使用者は自身の角膜や水晶体、眼球運動を利用しながら広視野・高解像・高機能・極低侵襲の視覚を再建でき、文字や物体を高精度で認識できる。このような人工網膜は世界に類例がなく、独自性と創造性は極めて高い。本研究は半導体工学を駆使して生体神経システムの構造と機能を探知し、生体と機械を統合した新機能システムを創製する「半導体神経工学」を深化させる研究であり、高QoL(Quality of Life)のピクセル分散型完全埋植人工網膜を開発することは本格的な前臨床試験の足がかりとなる。

研究成果の概要（英文）：We have successfully developed technologies to fabricate a minimally invasive pixel-dispersed, fully implantable retinal prosthesis. This includes fabricating 3D-stacked artificial retinal chips with visual information processing functions similar to humans, TXV technology to connect the pixel chips in a dense network of flexible wires, and long-term implantation evaluation of flexible substrates with metal wires. By dispersing these 3D-stacked artificial retinal pixel chips in the central fossa and its periphery, minimal invasiveness and 160° viewing angle can be achieved, enabling patients to recognize letters and objects with high precision while utilizing their cornea, lens, and eye movements. In the future, we plan to verify the wide viewing angle and intraocular implantation by flexibly distributed connection of many pixel chips ranging in size from tens to hundreds of microns.

研究分野：半導体工学・神経工学

キーワード：生体医工学 医用システム 人工網膜 三次元集積回路

1. 研究開始当初の背景

世界の先進諸国では高齢化の進行に伴い加齢黄斑変性や網膜色素変性症による失明患者が増加しており、我が国も同様である。これらの疾病は光を神経電気信号に変換する網膜の視細胞が部分的に死滅して視野の欠けや歪みが生じ、最終的に視力を失う。iPS 細胞を使った治療法の開発も進められているが、有効な治療法はまだ確立していない。一方、前述の疾病では網膜を構成する視細胞以外の細胞(水平・双極・アマクリン・神経節細胞)や視神経は一定期間正常に機能する。そこで残存する神経節細胞を微小電極アレイで電気刺激することで視覚を再建する人工網膜の研究が欧米を中心にして世界中で精力的に進められている。

人工網膜は撮像用光電変換素子(イメージセンサ)/画像信号処理回路/刺激電流生成回路/網膜刺激電極/電力・画像信号送受信用コイル等の部品から構成される。従来の人工網膜は、網膜刺激電極だけが眼球内に埋め込まれ、光電変換素子等の他の部品は眼球外に設置される。これは眼球内で最も高感度の網膜中心窩近傍は直径 3mm 程度の大きさしかなく、光電変換素子やその他の回路を平面上に並べると大きすぎて設置できないためである。そのため、従来の人工網膜は信号送受信容量の制約から高々百個の網膜刺激電極のみを眼球内に埋植して、単純な両極性電流パルスによる刺激を行うだけであり、低視野角かつ低解像度のために実用に耐えるものとは言い難い。加えて、光電変換素子が眼球外にあるため、眼球のサカドや固視微動、ピント調整機能が使えず、光電変換素子を意識的に動かして画像を入力する必要がある。従って、真に有益な広視野・高解像・高機能・低負担・低侵襲の視覚再建のために、人工網膜はどのような構造と機能を有し、どのように生体の神経系に作用すればよいのかを、工学と神経科学に則って解決することが強く求められている。

2. 研究の目的

これまで研究代表者らは、光電変換素子/視覚情報処理回路/刺激電流生成回路を積層し、TSV(Through-Si-Via:シリコン貫通配線)で電気接続した三次元積層人工網膜チップを眼球内に完全埋植することを提案し、従来の低解像度・視覚情報処理機能が無い・使用時負担が大きい等の問題を解決すべく開発を行ってきた(図 1)。三次元積層人工網膜チップは最上層の光電変換素子によって外光が電気信号に変換され、TSV によって下層に伝わる。視覚情報処理回路によってエッジ強調等の信号処理を行った後、最下層で両極性刺激電流パルスが生成され、微小刺激電極アレイで網膜の神経節細胞を刺激する。人の網膜と同じ三次元積層構造を用いることで、チップ上面を全て受光領域にして、視覚情報処理機能も搭載できるため、小面積で高解像度の視覚を再建可能である。眼球内に完全埋植するため、眼球のサカドや固視微動、ピント調整機能を利用できる。このような人工網膜は世界にも全く例がなく、その独創性は極めて高いと言える。なお、図 1 は網膜上刺激型であるが、刺激電極の位置を変更するだけで全く同じ機能を有する網膜下刺激型も容易に作製できる。

これまでに研究代表者らは 1500 画素(3mm 角)の光電変換素子、4 近傍ラプラシアンフィルタによるエッジ強調処理回路、9 チップ化による中視野角(30°)、直径 10 μ m の TSV による三次元集積化技術を開発し、三次元積層人工網膜チップの動作に世界で初めて成功している。しかし開発過程で狭い視野と高い侵襲性という新たな課題が明らかになった。小さい視野角では文字の認識にさえ眼球や頭部の運動が必要となる。また、眼球内に埋植するシリコン製人工網膜チップのヤング率は 160GPa であり、生体のヤング率 0.1k-10kPa よりも 7 桁以上大きい。固いシリコンチップが網膜を傷つけ、再結合組織が形成されて時間の経過と共に電流刺激が不可能になる。

本研究では、人と同じ視野角と情報処理機能を

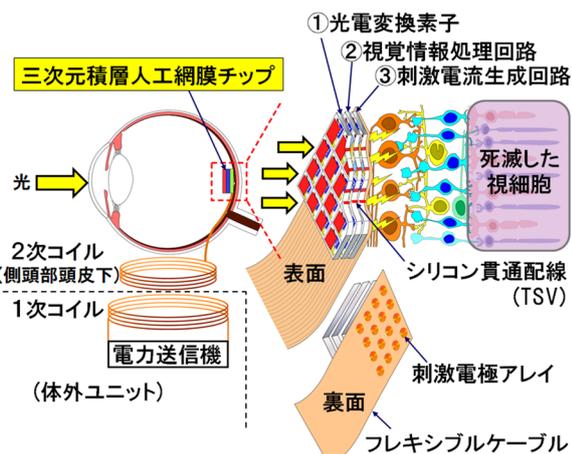


図 1 研究代表者が開発してきた三次元積層人工網膜チップを用いた眼球内完全埋植人工網膜

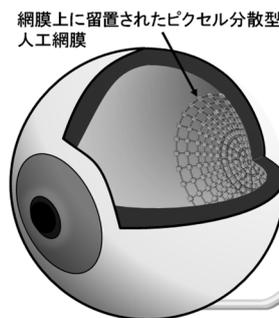


図 2 本研究で開発する人と同じ視野角と情報処理機能を有する極低侵襲ピクセル分散型人工網膜

有する極低侵襲ピクセル分散型人工網膜の開発を目的とする(図 2)。広視野と低侵襲は以下のように実現する。人間は片眼で約 160° の視野角を有する。人工網膜でそれを達成するには複数のチップを網膜に沿って配置する必要があり、侵襲性が高くなってしまふ。従って、三次元積層人工網膜チップを数十~数百 μm サイズの微小ピクセルチップに分割し、フレキシブル配線で網状に高密度一括接続する。それを網膜の中心窩及び周辺部に広く分散配置することによって視野角 160° を実現する。微小ピクセルチップは固いシリコン製だが、大きさ数十~数百 μm のため網膜に沿って分散配置できる。微小ピクセルチップの連結で柔軟性を発現させるため網膜細胞への侵襲性は極めて小さい。材料自体に柔軟性を持たせるのではなく、微小化・分割化とフレキシブル配線接続によって柔軟性を持たせることで、チップ性能を劣化させず、細胞への負荷を非常に小さくすることが可能となる。同時に、明暗感度や色感度の異なるピクセルチップやノイズ除去用容量チップを組み込むことで、中心視・周辺視機能の実装や色認識の可能性、消費電力削減効果も期待できる。このような広視野・高解像・高機能・極低侵襲の人工網膜は世界にも全く類例がなく、その独自性と創造性は極めて高い。

3. 研究の方法

①三次元積層人工網膜回路設計

・エッジ強調及び二値化:

高 QoL のために顔や物体の輪郭を明確にする機能を実装する。エッジ強調に二値化処理を追加することで機能向上を達成する。

・中心視及び周辺視機能:

広視野角に対応して中心部ピクセル群と周辺部ピクセル群の刺激周波数や感度を調整する機能を実装する。世界で初めて実装される技術である。

②積層化・ピクセル分散人工網膜作製

・微細 TSV を用いるチップ積層:

人工網膜チップの積層に必要な直径 6μm/4000 本の TSV 作製技術を開発する。TSV 側壁の金属拡散バリア膜の薄膜化工程を最適化する。

・分散ピクセルチップのフレキシブル配線接続実装:

積層チップをピクセルサイズに個片化するため、プラズマエッチングを最適化して使用する。多数のピクセルチップを高密度一括にフレキシブル配線で接続する技術を開発する。図 3 にプロセス工程を示す。(1)支持基板 1 に剥離可能な仮接着剤を均一塗布し金属配線を作製 (2)接合用微小金属バンプを作製 (3)上下反転させた多数のピクセルチップを一括接合 (4)チップ・基板間空隙に透明接着剤を注入して接合強化。透明接着剤はフォトダイオードの保護にもなる (5)フレキシブル配線入り基板となる弾性樹脂を塗布して圧縮成形 (6)フレキシブル基板を剥離して完成。

・高信頼包埋技術:

複雑で微細な構造を有するピクセル分散型人工網膜のパリレン包埋技術の最適化を行い、剥がれやヒビの無い包埋を達成する。

③細胞・動物実験による人工網膜の信頼性・視機能評価

・信頼性評価:

拒絶反応の有無を遺伝子の発現と免疫学的検査により評価する。長期間の網膜形態についても組織学的に調べる。経時的眼底観察を行い、ピクセルチップの定着と合併症の確認試験を行う。

・眼球内埋植術式:

ピクセルチップが分散配置されているフレキシブル配線を畳んだ状態で眼球内に挿入し、眼球内で展開させて網膜上に固定する術式を開発する。

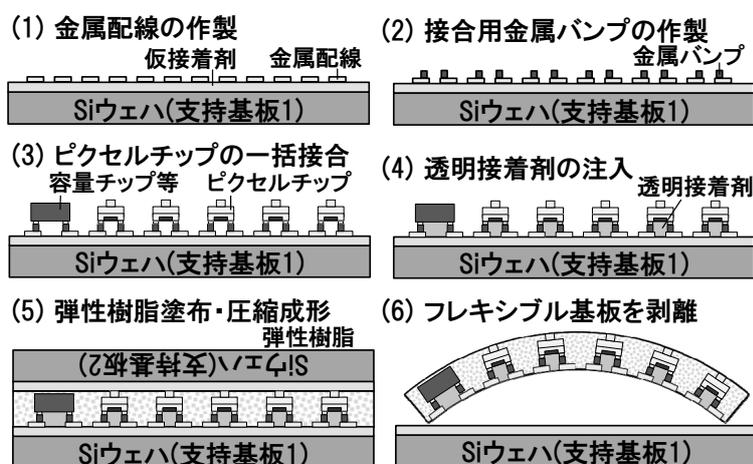


図 3 多数ピクセルチップの高密度一括フレキシブル配線接続

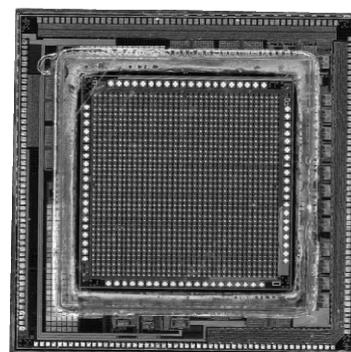


図 4 フォトレセプタチップ(上)と高次視覚情報処理・刺激電流生成チップ(下)を三次元積層した人工網膜チップ

4. 研究成果

①三次元積層人工網膜回路設計

・物体認識性能を高めるために画像二値化処理及びエッジ強調処理を行う回路を個別に設計して最適化を行った。次に2つの視覚情報処理を積層チップ上で連続して行う回路の設計を行った。次に、上層のフォトレセプタチップに二値化処理、下層の高次視覚情報処理・刺激電流生成チップにエッジ強調処理を組み込んだ回路設計と、両チップの三次元積層化に成功した。評価の結果、エッジ強調処理の前に二値化処理を行うと、最も視認性が良くなることを明らかにした。また、これまでエッジ強調処理に用いていた Laplacian 演算子に代わり、二値化処理後のエッジ強調処理に適している Roberts 演算子を用いた回路の設計も行った。新しいエッジ強調処理によって Fill factor 50.79%、消費電力削減 45.29%、及び視認性向上を達成することに成功した。

・中心視/周辺視を模擬するためにピクセル毎の刺激周波数や感度を調整する機能を実装し、機能検証を行った。

②積層化・ピクセル分散人工網膜作製

・微細 TSV/チップ積層:直径 $6\mu\text{m}$ の TSV 作製技術を開発した。
 ・分散ピクセルチップのフレキシブル配線接続実装:厚さ $200\mu\text{m}$ 程度の積層ピクセルチップを両面フレキシブル基板に実装するため、新しい厚膜フレキシブル基板貫通配線形成プロセスを開発した。図 5 左に一般的方法、図 5 右に本研究の銅ピラーによる TXV(Through-X Via)方法を示す。

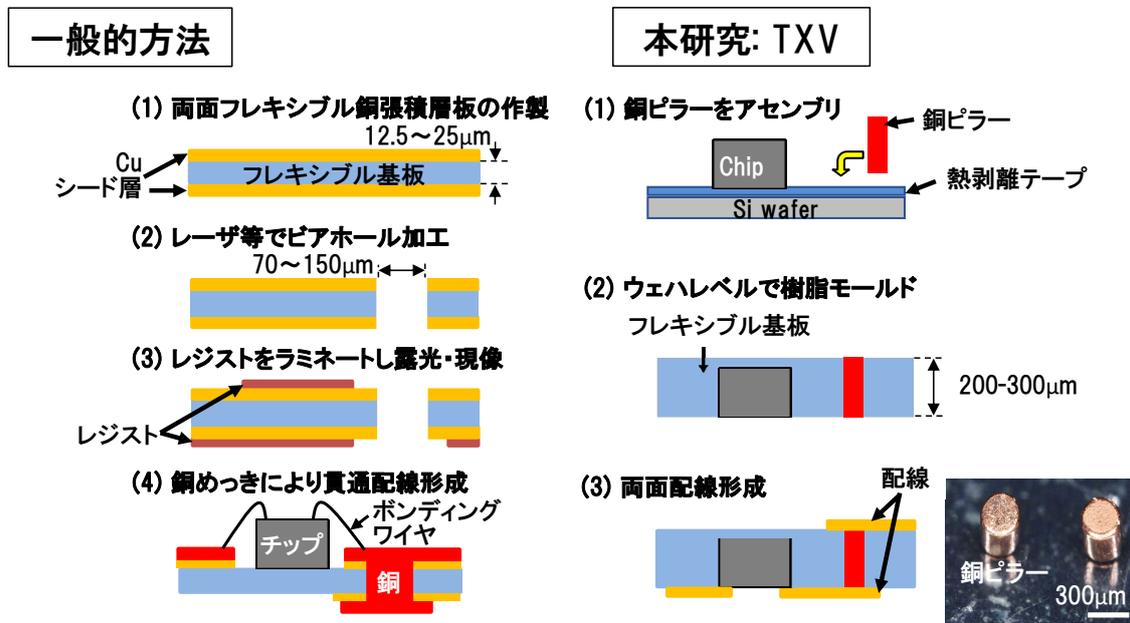


図 5 三次元積層チップを内蔵する厚膜フレキシブル基板貫通配線形成プロセス

一般的方法はボンディングワイヤを使用するためにピクセルチップ間同士の距離を小さくできなかったが、銅ピラーを使うことによってその距離を小さくすることが可能になった。この技術は再建視覚の解像度向上に重要である。

実際に銅ピラーによる TXV で両面配線を電気接続することに成功した。図 6 に Cu-TXV の写真を示す。配線幅を $75\mu\text{m}$ まで細線化することにも成功しており、この技術を用いてピクセル分散人工網膜のフレキシブル電気接続技術を確立した。

③細胞・動物実験による人工網膜の信頼性・視機能評価

・フレキシブル基板材料である生体適合性材料 SU-8 に関して、動物への埋植・長期留置実験

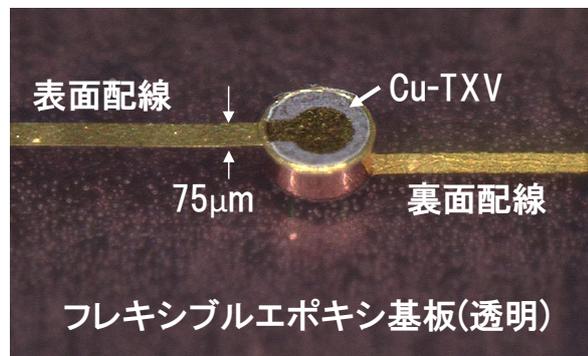


図 6 銅ピラーを用いたフレキシブルエポキシ基板貫通配線及び金の表面・裏面配線

を行って、細胞への影響と SU-8 上金属配線の信頼性評価を行った。その結果、金配線を有する SU-8 を 1.5 年間埋植しても、細胞への悪影響はなく、金属配線も電気測定可能であることが明らかになった。

以上のように、人と同じ情報処理機能を有する三次元積層人工網膜チップの作製、チップをフレキシブル配線で網状に高密度一括接続するための TXV 技術、金属配線付きフレキシブル基板の長期埋植評価等の極低侵襲ピクセル分散型完全埋植人工網膜を作製するための技術開発に成功した。この三次元積層人工網膜ピクセルチップを中心窩及びその周辺部に分散配置することにより、極低侵襲かつ 160° の視野角を実現でき、患者は自身の角膜や水晶体、眼球運動を利用しながら文字や物体を高精度かつ低負担で認識することが可能になる。今後、数十～数百 μm サイズの多数のピクセルチップのフレキシブル分散接続を行い、広視野角及び眼球内埋植の検証に繋げて行く。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka	4. 巻 B40
2. 論文標題 Electrochemical characterization of ZnO-based transparent materials as recording electrodes for neural probes in optogenetics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology	6. 最初と最後の頁 052202-1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1116/6.0001836	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 Yuki Susumago, Chang Liu, Tadaaki Hoshi, Jiayi Shen, Atsushi Shinoda, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima	4. 巻 44
2. 論文標題 Room-Temperature Direct Cu Semi-Additive Plating (SAP) Bonding for Chip-on-Wafer 3D Heterogenous Integration with μ LED	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Electron Device Letters	6. 最初と最後の頁 500-503
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LED.2023.3237834	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 Yaogan Liang, Bang Du, Kohei Nakamura, Shengwei Wang, Bunta Inoue, Yuta Aruga, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Koji Kiyoyama, Tetsu Tanaka	4. 巻 19
2. 論文標題 3D-stacked retinal prosthesis chip with binary image capture and edge detection functions for human visual restoration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Electronics Express	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/elex.19.20220363	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 Hiromichi Wakebe, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka	4. 巻 141
2. 論文標題 Direct fabrication of SU-8 microchannel across an embedded chip for potentiometric bilayer lipid membrane sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 327-335
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ecj.12343	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 銭 正よう、杜 邦、梁 耀淦、中村 皓平、叶 津銘、木野 久志、福島 誉史、清山 浩司、田中 徹	4. 巻 105
2. 論文標題 経爪型集積化光電容積脈波計測システムの開発と応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌 小特集号「バイオセンシングデバイスの技術動向」	6. 最初と最後の頁 208-215
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41件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Development of 3D-Stacked Artificial Retina Chip with 3DIC/TSV and Advanced Packaging Technology
3. 学会等名 241st ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Susumago, Shunsuke Arayama, Tadaaki Hoshi, Hisashi. Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Room-Temperature Cu Direct Bonding Technology Enabling 3D Integration with Micro-LEDs
3. 学会等名 IEEE 72nd Electronic Components and Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiaki Shirasaka, Tadashi Okuda, Tomoaki Shibata, Satoshi Yoneda, Daisaku Matsukawa, Mariappan Murugesan, Mitsumasa Koyanagi, and Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Comprehensive Study on Advanced Chip on Wafer Hybrid Bonding with Copper/Polyimide Systems
3. 学会等名 IEEE 72nd Electronic Components and Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 M Mariappan, K Mori, M Sawa, E Sone, Mitsumasa Koyanagi, and Takafumi Fukushima
2 . 発表標題 Cu-SiO ₂ Hybrid Bonding Yield Enhancement Through Cu Grain Enlargement
3 . 学会等名 IEEE 72nd Electronic Components and Technology Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 M Mariappan, S. Fukuzumi, T. Shibata, H. Hashimoto, J. Bea, Mitsumasa Koyanagi, and Takafumi Fukushima
2 . 発表標題 Tight-Pitched 10 μm-Width Solder Joints for c-2-c and c-2-w 3D-Integration in NCF Environment
3 . 学会等名 IEEE 72nd Electronic Components and Technology Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2 . 発表標題 Developing a Low-Temperature Flip-Chip Bonding Technology with In/Au Microbumps to Suppress the Thermal Load on Spintronics Devices
3 . 学会等名 2022 IEEE International Interconnect Technology Conference (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Liu Chang, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2 . 発表標題 A Finite Element Study of Highly Flexible 3D Corrugated Interconnections for Advanced FHE with Embedded Chiplets
3 . 学会等名 FLEX Conference & Exhibition (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 大西 青葉, 番場 峻太郎, 田中 文悟, 岸本 凌平, 木野 久志, 福島 誉史, 田中 徹
2. 発表標題 人工網膜の高性能化に向けた三次元積層人工網膜チップの作製
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村皓平, 梁耀淦, 杜邦, 王勝イ, 有賀優太, 井上文太, 木野久志, 福島誉史, 清山浩司, 田中徹
2. 発表標題 高QOL人工網膜チップのための明暗順応機能の設計と評価
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Nakamura, Yaogan Liang, Bang Du, Shengwei Wang, Bunta Inoue, Yuta Aruga, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Koji Kiyoyama, and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Design and Evaluation of Light and Dark Adaptation Functions for High QOL Artificial Vision Chip
3. 学会等名 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (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 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Aoba Onishi, Ryotaro Bamba, Bungo Tanaka, Ryouhei Kishimoto, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題	Fabrication of the 3D-stacked retinal prosthesis chip to realize high-performance retinal prosthesis
3. 学会等名	2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Yuki Susumago, Tadaaki Hoshi, Chang Liu, Atsushi Shinoda, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2. 発表標題	Failure Analyses and Yield Enhancement of Electroplated Cu Direct Bonding for Heterogeneous 3D and Micro-LED Integration
3. 学会等名	2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Kohei Nakamura, Yaogan Liang, Bang Du, Shengwei Wang, Bunta Inoue, Yuta Aruga, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Koji Kiyoyama, and Tetsu Tanaka
2. 発表標題	Implementation of Light and Dark Adaptation Function for High QOL 3D-Stacked Artificial Retina Chip
3. 学会等名	2022 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	煤孫 祐樹, 星 匡朗, 劉 暢, 申 家屹, 篠田 敦志, 木野 久志, 田中 徹, 福島 誉史
2. 発表標題	Smart Skin Displayの要素技術研究 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
3. 学会等名	第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 Cho Ryu, Yuki Susumago, Tadaaki Hoshi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Integration Technology for Smart Skin Display II: Bendability Enhancement of Multi-level Metallization on a PDMS Elastomer
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大西 青葉, 番場 峻太郎, 岸本 凌平, 木野 久志, 福島 誉史, 田中 徹
2. 発表標題 人の視覚情報処理機能を有する三次元積層人工網膜チップの作製と評価
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomo Odashima, Yuki Susumago, Shuta Nagata, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi 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 2021 IEEE 71st Electronic Components and Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhe Wang, Ikumi Ozawa, Yuki Susumago, Tomo Odashima, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Multi-level Metallization on an Elastomer PDMS for FOWLP-based Flexible Hybrid Electronics
3. 学会等名 The 2021 IEEE International Interconnect Technology Conference (IITC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Development of Integrated Biomedical Devices with 3D-stacked IC and Advanced Packaging Technology
3. 学会等名 2021 Symposium on Engineering, Medicine, and Biology Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中徹
2. 発表標題 チップレットを用いた三次元ヘテロ集積化技術の開発
3. 学会等名 2021年電気学会電子・情報・システム部門大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 煤孫 祐樹、王 喆、小田島 輩、荒山 俊亮、星 匡朗、木野 久志、田中 徹、福島 誉史
2. 発表標題 スマートスキンディスプレイの提案とマイクロLED の常温 Cu 直接接合技術
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 大西 青葉、田中 文悟、番場 峻太郎、劉 帥、木野 久志、福島 誉史、田中 徹
2. 発表標題 三次元積層人工網膜チップ用TiN薄膜を有するZnO系透明刺激電極の開発
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 井上 文太、銭 正よう、梁 耀滄、杜 邦、叶 津銘、中村 皓平、王 勝うえい、有賀 優太、木野 久志、福島 誉史、清山 浩司、田中 徹
2. 発表標題 経爪型集積化光電容積脈波計測システムにおけるバックグラウンドノイズキャンセル回路の設計と評価
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 長崎 春樹、楊 芬、鈴木 志門、木野 久志、福島 誉史、田中 徹
2. 発表標題 光遺伝学用神経メッシュプローブの作製と評価
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 Haruki Nagasaki, Fen Yang, Shimon Suzuki, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Development of Ultralow Invasive Opto-neural Mesh Probe with Upconversion Nanoparticles for Optogenetics
3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 B. Inoue, Z. Qian, B. Du, Y. Liang, J. Ye, K. Nakamura, S. Wang, Y. Aruga, H. Kino, T. Fukushima, K. Kiyoyama, and T. Tanaka
2. 発表標題 Design of Noise Cancellation Circuit for Trans-Nail Pulse-Wave Measurement System
3. 学会等名 2021 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 叶 津銘、Filipe Alves Satake、銭 正よう、梁 耀淦、杜 邦、中村 皓平、王 勝うえい、有賀 優太、井上 文太、木野 久志、福島 誉史、清山 浩司、田中 徹
2. 発表標題 経爪型光電容積脈波を利用する多目的コントローラの開発
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村 皓平、銭 正よう、梁 耀淦、杜 邦、叶 津銘、王 勝うえい、有賀 優太、井上 文太、木野 久志、福島 誉史、清山 浩司、田中 徹
2. 発表標題 人工網膜チップの低消費電力化に向けた物体検出回路の開発
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杜 邦、銭 正よう、梁 耀淦、中村 皓平、叶 津銘、王 勝うえい、有賀 優太、井上 文太、木野 久志、福島 誉史、清山 浩司、田中 徹
2. 発表標題 GIDL リングオシレータを利用したウェアラブルデバイス用小面積 CMOS 温度センサの開発
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhe Wang, Shunsuke Arayama, Yuki Susumago, Tomo Odashima, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Takafumi Fukushima
2. 発表標題 Flexible Full-Color Micro-LED Display Fabrication Technology with Fan-Out Interconnections
3. 学会等名 第31回マイクロエレクトロニクスシンポジウム2021 (MES2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yaogan Liang, Zhengyang Qian, Bang Du, Jinming Ye, Kohei Nakamura, Shengwei Wang, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Koji Kiyoyama, and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Design And Evaluation Of Electronic-Microsaccade With Balanced Stimulation for Artificial Vision System
3. 学会等名 IEEE 2021 Biomedical Circuits and Systems Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Development of integrated biomedical devices with 3DIC and advanced packaging technology
3. 学会等名 IEEE International 3D System Integration Conference 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中徹
2. 発表標題 3DIC技術を用いたバイオメディカル集積デバイスの開発
3. 学会等名 実装フェスタ関西2021 (招待講演)
4. 発表年 2021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年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村 皓平、 銭 正よう、 梁 耀滄、 杜 邦、 叶 津銘、 王 勝うえい、 有賀 優太、 井上 文太、 木野 久志、 福島 誉史、 清山 浩司、 田中 徹
2. 発表標題 物体検出機能を有する低消費電力人工網膜チップの開発
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jinming Ye, Zhengyang Qian, Bang Du, Yaogan Liang, Kohei Nakamura, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Koji Kiyoyama, and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 A Canceling Circuit of Temperature Variation and Individual Difference for Photoplethysmography (PPG) based Motion Sensor
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 志門、 長崎 春樹、 木野 久志、 福島 誉史、 田中 徹
2. 発表標題 多段階励起による発光現象を用いた臓器治療用ディスクデバイスの提案と作製
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中 文悟、 大西 青葉、 番場 峻太郎、 木野 久志、 福島 誉史、 田中 徹
2. 発表標題 HMDS-CVDによるTSV絶縁層の低温形成技術の検討
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星 匡朗、小田島 輩、煤孫 祐樹、荒山 俊亮、木野 久志、田中 徹、福島 誉史
2. 発表標題 FOWLPI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
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒山 俊亮、煤孫 祐樹、小田島 輩、星 匡朗、木野 久志、田中 徹、福島 誉史
2. 発表標題 アセンブリによるSmart Skin Display用フレキシブル基板貫通配線の形成と評価
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 清山浩司、田中徹	4. 発行年 2023年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 326
3. 書名 スマートヘルスケア(第4章題2節経爪型集積化光電容積脈波計測システムの開発)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

田中(徹)/福島研究室 http://www.lbc.mech.tohoku.ac.jp/
--

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	福島 誉史 (FUKUSHIMA Takafumi) (10374969)	東北大学・工学研究科・准教授 (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	富田 浩史 (TOMITA Hiroshi) (40302088)	岩手大学・理工学部・教授 (11201)	
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・教授 (37301)	
研究分担者	菅野 江里子 (SUGANO Eriko) (70375210)	岩手大学・理工学部・准教授 (11201)	

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