

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H04159

研究課題名(和文) 広視野の視覚を再建する眼球内完全埋植・低侵襲フレキシブル人工網膜の開発

研究課題名(英文) Development of Fully Implantable and Minimally Invasive Flexible Retina Prosthesis for Reconstruction of Wide Field of Vision

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) 33,800,000円

研究成果の概要(和文)：網膜上の設置位置毎に機能最適化された複数個の三次元積層人工網膜チップをフレキシブル基板上に高密度集積し、広視野角の視覚再建を実現する眼球内完全埋植・低侵襲フレキシブル人工網膜を作製するための技術開発に成功した。人の網膜の持つ光電変換・視覚情報処理・神経活動電位発生の機能を全て実現する2層積層の三次元積層人工網膜チップを設計・試作し、動作させることに成功した。この三次元積層人工網膜チップを中心窩及びその周辺部に複数個配置することにより、40°以上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。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回開発に成功した技術は、広視野角の視覚再建を可能にするものであり、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できる。このような人工網膜は世界にも類例がなく、その独自性と創造性は極めて高い。また、電気刺激された神経節細胞の生体反応機構の解析と新しい電氣的細胞刺激技術の創出にも役立ち、視覚以外の感覚再生に利用できる可能性もある。本研究は生体の神経システムへ半導体工学を駆使して迫り、その構造と機能の探究を通して生体と機械を「総合」した新しい医用システムを創製し、かつ半導体神経工学という新たな学術領域の構築を推し進めるものである。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in developing a technology for fabricating a fully implantable, minimally invasive, flexible artificial retina that realizes visual reconstruction with a wide viewing angle by high-density integration of multiple 3D stacked artificial retinal chips on the flexible substrate. We have designed, fabricated, and successfully operated a three-dimensional stacked artificial retinal chip with two layers that realize the human retina's several functions, such as photoelectric conversion, visual information processing, and nerve action potential generation. By placing several 3D stacked artificial retinal chips in the central fovea and its periphery, a viewing angle of more than 40 degrees can be achieved, enabling patients to recognize letters and objects with high accuracy and low burden while using their cornea, lens, and eye movements.

研究分野：半導体工学・神経工学

キーワード：人工網膜 三次元集積回路 医用システム 生体医工学

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急増しており、我が国も例外ではない。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力を失うが、医学的に有効な治療法は未確立である。一方で、網膜を構成する他の細胞(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している。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。

人工網膜は撮像カメラ(光電変換素子)/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感度の高い中心窩近傍は直径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百個程度に限られる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で顔認識も難しい。また、光電変換素子が眼球外にあるため、眼球のサックードや固視微動、ピント調整機能が使えず、光電変換素子を装着している頭部を眼球の代わりに動かして画像を走査入力する必要がある。これは患者にとって大きな負担である。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人の網膜と同じ層構造を有する。外界光は最上層の光電変換素子によって電気信号に変換され、電気信号はTSVによって下層に伝わる。視覚情報処理回路によって認識精度を高める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る。電流パルスは微小刺激電極アレイから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採用することで、チップ上面を全て受光領域にできるため、小面積で高解像の視覚を実現できる。また、チップ面積を増やさずに視覚情報処理機能を搭載できるために、より明瞭な視覚を再生することが可能である。さらに眼球内に完全埋植するため、眼球のサックードや固視微動、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は網膜上刺激型を図示してあるが、全く同じ機能を有する網膜下刺激型も容易に作製可能である。

これまでに研究代表者らが作製した三次元積層人工網膜チップは3mm角のシングルチップで動作するものであり、眼球内埋植時に得られる視野が圧倒的に狭いという大きな問題があった。視野角は視覚にとって最重要パラメータの1つであり、1300画素数やエッジ強調処理が実現できても、視野角が狭ければ患者は文字の認識にさえ眼球や頭部の運動が必要となり大きな負担を強いられることになる。本研究では、網膜上の設置位置毎に機能最適化された複数の三次元積層人工網膜チップをフレキシブル基板上に高密度集積し、視野角40°の視覚再建を実現する眼球内完全埋植・低侵襲フレキシブル人工網膜を開発する(図2)。人の網膜の持つ光電変換・視覚情報処理・神経活動電位発生の機能を全て実現する三次元積層人工網

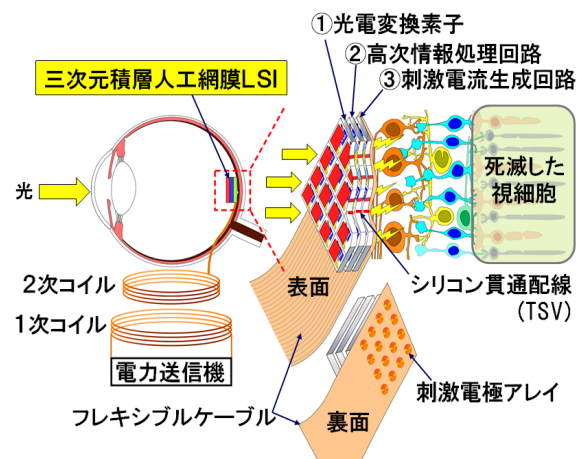


図1 研究代表者が開発している三次元積層人工網膜チップを用いた眼球内完全埋植人工網膜

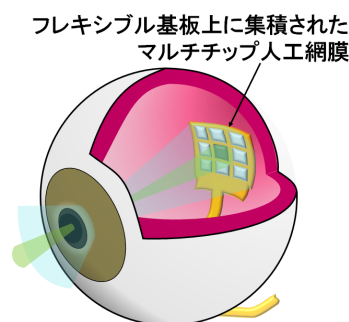


図2 本研究で開発するマルチチップ化により広視野角の視覚を再建する眼球内完全埋植・低侵襲フレキシブル人工網膜

膜チップを中心窩及びその周辺部に複数個配置することにより、現在の4倍以上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となる。このような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と言える。

3. 研究の方法

(1) マルチチップ対応視覚情報処理を実現する超低消費電力三次元積層人工網膜回路設計

2000画素相当の光電変換素子、チップ毎に切り替え可能な明暗順応機能(暗所において1つの刺激電極に対して自動的に複数の画素を割り当てて光感度を向上)、超低消費電力エッジ強調機能(エッジ以外の刺激電極を動作停止して生体に安全とされる閾値以下に低消費電力化)を搭載する三次元積層人工網膜チップを設計・試作する。患者の症状や加齢に合わせた安全で最適な視覚再建ができるように、各種パラメータ調整と発熱補償・供給電力補償・刺激電流補償・起動補償などの安全保障回路も搭載する。何らかの事情で計画通りに進まない場合は画素数の低減と一部機能の不搭載で対応する。

(2) 積層化及びマルチチップ・フレキシブル人工網膜作製技術開発

半導体チップ製造会社で試作した人工網膜チップを、2000画素に必要な直径6 μ mのTSV数千本で三次元積層するプロセス技術と弾性樹脂からなるフレキシブル基板上に多数の積層チップを高密度一括集積するプロセス技術を開発し、眼球内に低侵襲で埋植可能なマルチチップ・フレキシブル人工網膜を作製する。図3にフレキシブル基板上に多数の微細チップを高密度一括集積するプロセスの工程案を示す。

1) 支持基板1に剥離可能な接着層Aを成膜し微細チップを上下反転接着。2) 液状もしくは顆粒状の樹脂をチップ上に供給。3) 樹脂を支持基板2(剥離可能接着層B付き)で圧縮成形。4) 支持基板1を剥離。5) ウェハレベルで高密度電気配線を形成。6) フレキシブル基板を剥離して完成。上記技術は完成すれば世界トップクラスの積層化技術かつ多数チップのフレキシブル基板上高密度一括集積技術となる。何らかの事情で計画通りに進まない場合は搭載チップ数低減と配線サイズの緩和(太線化)を行い、フレキシブル基板作製を優先する。

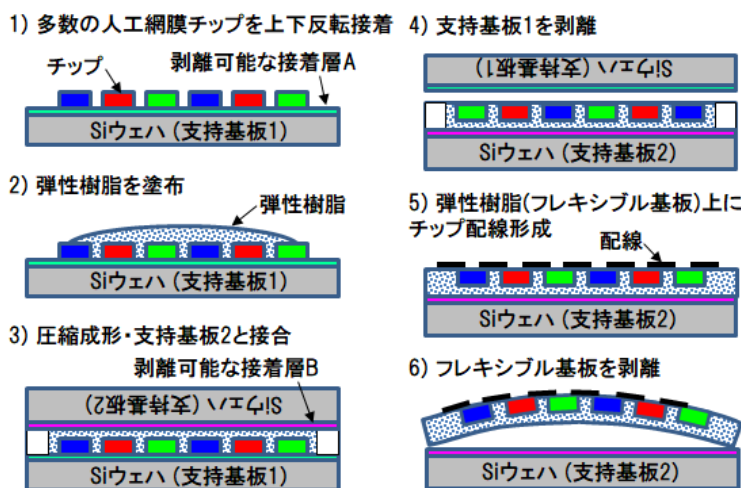


図3 多数チップのフレキシブル基板上高密度一括集積工程

(3) 細胞実験による人工網膜の信頼性評価及び視機能評価実験による性能検証

細胞実験による多面的な信頼性評価を行い、マルチチップ・フレキシブル人工網膜の長期安全性を確立する。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、刺激電極アレイの定着と合併症の確認試験を行う。また、当該人工網膜を長期間安定して眼球内に設置するための埋植術式開発も行う。

4. 研究成果

(1) マルチチップ対応視覚情報処理を実現する超低消費電力三次元積層人工網膜回路設計

本研究では、広い視野角を得るため2.5mm角の三次元積層人工網膜チップを9チップ搭載する。設計した三次元積層人工網膜チップは2層積層で、上層が光電変換素子であるフォトレセプタチップ、下層が二値化やエッジ強調等の情報処理を行う高次視覚処理チップである。図4に設計・試作したチップの写真を示す。試作は1P6Mの180nmCMOSテクノロジーを使用している。1チップ当たり525ピクセルであるが、9チップ搭載のために全部で4725ピ

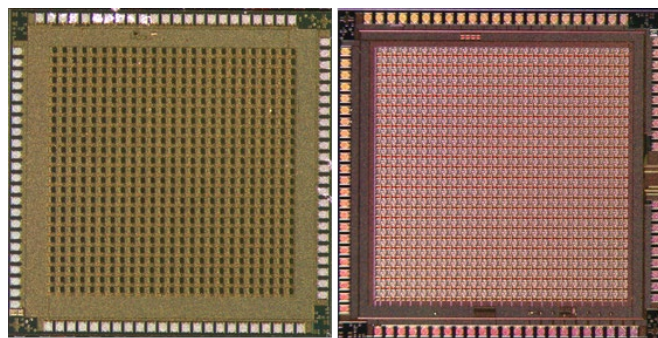


図4 フォトレセプタチップ(左)と高次視覚情報処理チップ(右) チップサイズ:2.5mmx2.5mm

クセルとなる。先行研究の人工網膜よりもチップ当たりのピクセル数は減少するが、9チップ搭載により全体では増加した。両チップに明暗感度対応・二値化処理回路・チップ選択回路を実装し、明瞭なエッジ強調、広視野角、低消費電力動作を達成できた。マルチチップ動作テスト用のチップ選択回路を評価し、9チップ間の走査動作も確認した。以上より、複数チップからなる広視野角人工網膜の回路設計を完成した。

(2) 積層化及びマルチチップ・フレキシブル人工網膜作製技術開発

複数個の人工網膜チップをフレキシブル材料中に集積化する FOWLP ベースの実装プロセス技術の開発を完了した。図5に三次元積層チップ内蔵フレキシブルハイブリッドシステムのプロセスフローを示す。

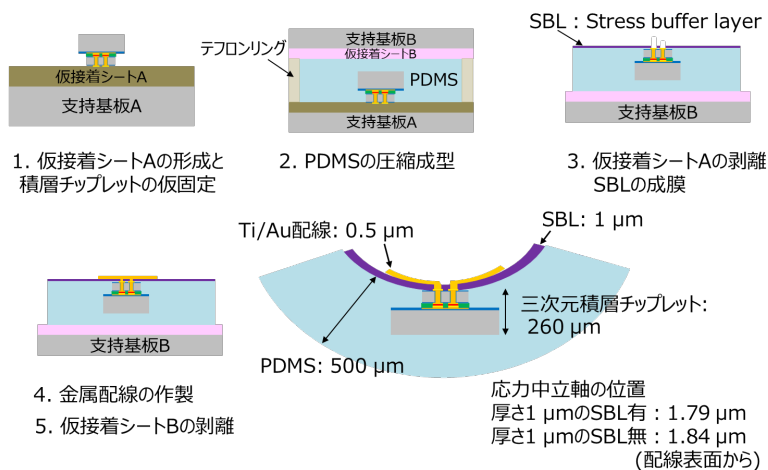


図5 三次元積層チップ内蔵フレキシブルハイブリッドシステムのプロセスフロー

実際に三次元積層チップをこのプロセスによってフレキシブル基板中に埋め込み、フレキシブル基板上金属配線で接続することに成功した。三次元積層チップの電気的動作にも成功した。図6に試作したデバイスの写真を示す。今回の試作では1チップのみ埋め込んだ結果を示したが、現在までに9チップ搭載デバイスの試作を完了している。

その他、熱応力低減のために OER-TEOS を用いた TSV を有する積層人工網膜チップを作製して、その電気的動作に成功した。また、信頼性向上のために低背金属バンプと極薄 7μm の NCF アンダーフィルを用いた接合技術を確認した。unbiased HAST の結果、この接合技術が高い信頼性を有することを確認した。これらのプロセス技術を利用してピクセル動作率 99% の三次元積層人工網膜チップの作製に成功した。

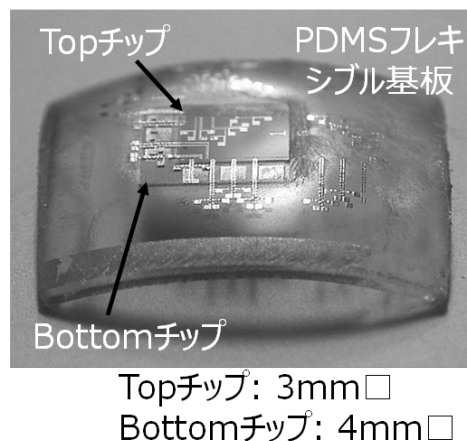


図6 フレキシブル基板に埋め込み Fan-out 再配線で接続した三次元積層チップ

(3) 細胞実験による人工網膜の信頼性評価及び視機能実験による性能検証

人工網膜チップの光変換感度向上と刺激電流による細胞ダメージ低減を両立するために ZnO 透明刺激電極を開発した。細胞を使った生体適合性評価の結果、ZnO 電極が生体にダメージを与える可能性が判明したため、生体適合性金属薄膜で被覆する2層構造を考案した。試作評価の結果、2層透明刺激電極が機械的構造と生体適合性を両立することを明らかにした。

以上のように、網膜上の設置位置毎に機能最適化された複数個の三次元積層人工網膜チップをフレキシブル基板上に高密度集積し、広視野角の視覚再建を実現する眼球内完全埋植・低侵襲フレキシブル人工網膜を作製するための技術開発に成功した。人の網膜の持つ光電変換・視覚情報処理・神経活動電位発生の機能を全て実現する三次元積層人工網膜チップを中心窩及びその周辺部に複数個配置することにより、40°以上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。

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 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takafumi Fukushima, Yuki Susumago, Zhengyang Qian, Chidai Shima, Bang Du, Noriyuki Takahashi, Shuta Nagata, Tomo Odashima, Hisashi Kino, 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 Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka	4. 巻 7
2. 論文標題 Investigation of TSV Liner Interface with Multiwell Structured TSV to Suppress Noise Propagation in Mixed-Signal 3D-IC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Journal of the Electron Devices Society	6. 最初と最後の頁 1225-1231
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JEDS.2019.2936180	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 Sungho Lee, Rui Liang, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka	4. 巻 59
2. 論文標題 Multichip thinning technology with temporary bonding for multichip-to-wafer 3D integration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SBBA04-1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/1347-4065/ab4f3c	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 Miao Xiong, Zhiming Chen, Yingtao Ding, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka	4. 巻 40
2. 論文標題 Development of Eccentric Spin Coating of Polymer Liner for Low-Temperature TSV Technology With Ultra-Fine Diameter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS DEVICE LETTERS	6. 最初と最後の頁 95-98
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LED.2018.2884452	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 該当する

1. 著者名 Hideto Hashiguchi , Takafumi Fukushima , Mariappan Murugesan, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, and Mitsumasa Koyanagi	4. 巻 9
2. 論文標題 High-Thermoresistant Temporary Bonding Technology for Multichip-to-Wafer 3-D Integration With Via-Last TSVs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 181-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCPMT.2018.2871764	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33件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 Noriyuki Takahashi, Yuki Susumago, Sungho Lee, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima
2. 発表標題 RDL-first Flexible FOWLP Technology with Dielets Embedded in Hydrogel
3. 学会等名 2020 IEEE 70th Electronic Components and Technology Conference Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kousei Kumahara, Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Mariappan Murugesan, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Low-temperature multichip-to-wafer 3D integration based on via-last TSV with OER-TEOS-CVD and microbump bonding without solder extrusion
3. 学会等名 2020 IEEE 70th Electronic Components and Technology Conference Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Miwa, Kousei Kumahara, Sungho Lee, Rui Liang, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 7- μ m-thick NCF technology with low-height solder microbump bonding for 3D integration
3. 学会等名 2020 IEEE 70th Electronic Components and Technology Conference Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田 柗太, 木野久志, 田中徹, 福島誉史
2. 発表標題 インモールドエレクトロニクス用フレキシブル三次元波状配線の作製
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Evaluation of the Dopant Effects of ZnO-based Transparent Electrode on Electrochemical Characteristics for Biomedical Applications with Optical Devices
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Zhe Wang, Ikumi Ozawa, 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会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuai Liu, Kousei Kumahara, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Die-Level Cu-CMP Technology in Via-Last TSV Process for Multichip-to-Wafer 3D integration
3. 学会等名 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Yuki Susumago, Achille Jacquemond, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima
2. 発表標題	Mechanical Characterization of FOWLP Based Flexible Hybrid Electronics (FHE) for Biomedical Sensor Application
3. 学会等名	2019 International Conference on Electronics Packaging ICEP 2019 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Michael Proffitt, Tetsu Tanaka, Takafumi Fukushima, Hisashi Kino, Hiroshi Tomita
2. 発表標題	Study of Transparent Electrodes for 3D-Stacked Retinal Prosthesis
3. 学会等名	2019 MRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Sungcho Lee, Rui Liang, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka
2. 発表標題	Multichip thinning technology with temporary bonding for multichip-to-wafer 3D integration
3. 学会等名	2019 6th International Workshop on Low Temperature Bonding for 3D Integration (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Yuki Susumago, Qian Zhengyang, Achille Jacquemond, Noriyuki Takahashi, Hisashi Kino, Tetsu Tanaka, Takafumi 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	The 2019 IEEE 69th Electronic Components and Technology Conference (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Room Temperature SiO ₂ Liner Technology for Multichip-to-Wafer 3D Integration with Via-last TSV
3. 学会等名 IEEE International Interconnect Technology Conference (IITC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Kousei Kumahara, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Annealing Effect on Room-Temperature-Deposited SiO ₂ Liner for Multichip-to-Wafer 3D Integration Process
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 熊原 宏征、三輪 侑紀、李 晟豪、梁 ザイ、木野 久志、福島 誉史、田中 徹
2. 発表標題 Multichip-to-Wafer三次元集積に向けたマイクロバンプ接合技術
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 三輪 侑紀、李 晟豪、梁 ザイ、熊原 宏征、木野 久志、福島 誉史、田中 徹
2. 発表標題 高密度電極接続を用いた三次元集積のための低背マイクロバンプ接合評価
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 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 FOWLP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 Yuki Miwa, Sungho Lee, Rui Liang, Kousei Kumahara, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Characterization of Low-Height Solder Microbump Bonding for Fine-Pitch Inter-Chip Connection in 3DICs
3. 学会等名 2019 International 3D Systems Integration Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Lee, Y. Susumago, Z. Qian, N. Takahashi, H. Kino, T. Tanaka, and T. Fukushima
2. 発表標題 Development of 3D-IC Embedded Flexible Hybrid System
3. 学会等名 2019 International 3D Systems Integration Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Kousei Kumahara, Murugesan Mariappan, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima and Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Impacts of Deposition Temperature and Annealing Condition on Ozone-Ethylene Radical Generation-TEOS-CVD SiO ₂ for Low-Temperature TSV Liner Formation
3. 学会等名 2019 International 3D Systems Integration Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Investigation of the Underfill with Negative-Thermal- Expansion Material to Suppress Mechanical Stress in 3D Integration System
3. 学会等名 2019 International 3D Systems Integration Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Integrated Biomedical Micro/Nano Devices with 3D-IC: Fully Implantable Retinal Prosthesis
3. 学会等名 Future Chips forum 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hisashi Kino
2. 発表標題 Development of underfill with negative-CTE material for high-reliable three-dimensional integrated circuit (3DIC)
3. 学会等名 3rd International Symposium on Negative Thermal Expansion and Related Materials (ISNTE-3) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Lee, Y. Sugawara, M. Ito, H. Kino, T. Fukushima, T. Tanaka
2. 発表標題 TSV Liner Dielectric Technology with Spin-on Low-k Polymer
3. 学会等名 2018 Japan-Taiwan Workshop on Electronic Interconnection (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Lee, Y. Sugawara, M. Ito, H. Kino, T. Fukushima, T. Tanaka
2 . 発表標題 TSV Liner Dielectric Technology with Spin-on Low-k Polymer
3 . 学会等名 2018 International Conference on Electronics Packaging and iMAPS All Asia Conference (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Kino, S. Lee, Y. Sugawara, T. Fukushima, T. Tanaka
2 . 発表標題 Charge-Trap-Free Polymer-Liner Through-Silicon Vias for Reliability Improvement of 3D ICs
3 . 学会等名 21st IEEE International Interconnect Technology Conference (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Takafumi Fukushima
2 . 発表標題 Capillary Self-Assembly Based Multichip-to-Wafer System Integration Technologies
3 . 学会等名 International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 田中 徹
2 . 発表標題 医療・ヘルスケア用ウェアラブル/インプラントブルLSIの開発
3 . 学会等名 SEMICON Japan 2018 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 浦山 翔太、島 智大、張 博文、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光遺伝学用神経プローブの作製
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 島 智大、煤孫 裕樹、張 博文、浦山 翔太、木野 久志、福島 誉史、田中 徹
2. 発表標題 マイクロLED埋め込み型フレキシブルオプト神経プローブの開発
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 Rui Liang, Sungho Lee, Yuki Miwa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Technology Platform Development of Multichip-to-Wafer 3D Integration (2)- SiO ₂ Liner Technology for Low Temperature TSV Process -
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 李 晟豪、梁 ザイ、三輪 侑紀、木野 久志、福島 誉史、田中 徹
2. 発表標題 Multichip-to-Wafer三次元集積化基盤技術の開発 (1) - テンポラリ接着剤を用いた一括チップ薄化技術 -
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 三輪 侑紀, 李 晟豪, 梁 ザイ, 木野 久志, 福島 誉史, 田中 徹
2. 発表標題 Multichip-to-Wafer 三次元集積化基盤技術の開発 (3) 異種機能集積化に向けたマイクロバンプ接合技術
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 Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Tetsu Tanaka
2. 発表標題 Noise Propagation through TSV in Mixed-Signal 3D-IC and Investigation of Liner Interface with Multi-Well Structured TSV
3. 学会等名 The 3rd Electron Devices Technology and Manufacturing (EDTM) Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

田中(徹)・木野/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	清山 浩司 (KIYOYAMA Koji) (60412722)	長崎総合科学大学・工学研究科・准教授 (37301)	

6. 研究組織（つづき）

	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・学際科学フロンティア研究所・助教 (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	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