

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月18日現在

機関番号：13501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656213

 研究課題名（和文）生物の最適ネットワーク構造探索機能を利用した  
 超高バンド幅集積回路配線形成の試み

研究課題名（英文）Interconnect formation for high-band-width packaging

研究代表者

近藤 英一 (EIICHI KONDOH)

山梨大学・医学工学総合研究部・教授

研究者番号：70304871

研究成果の概要（和文）：

本研究では、粘菌などの生体組織表面を超臨界流体プロセスによりメタライズした。粘菌は効率的なネットワークを形成するので、解探索という情報処理能力を持つので導電性を付与できれば高速な電子回路を形成できる可能性がある。メタライズは、超臨界 CO<sub>2</sub> 中で金属錯体を水素還元して行った。一般にこの反応は金属下地上でのみ進行するが、生体組織では特別な前処理を施さずに数ミクロン程度の Cu や Pt を堆積することができた。実験に用いた生体組織は超臨界流体中で 200℃程度までは形状的に大きな変質をきたすことはなかった。

研究成果の概要（英文）：

Bio veins such as amoeboid organism form an efficient network. A high speed electronic circuit can be fabricated via giving electric conductivity to the bio veins. In this work, bio vein surfaces were metallized using a metal deposition technique from supercritical fluids, where a metal chelate was reduced by hydrogen dissolved in the fluid. A few of micron-thick Cu or Pt was successfully deposited on non-conductive bio veins without special pretreatment. The tissues did not show a significant degeneration upto about 200°C.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電子・電気材料工学

キーワード：粘菌、配線、超臨界流体

## 1. 研究開始当初の背景

現在集積回路では回路要素 (IP コア) がチップ内に平面上に配置され (SoC)、あるいはインターポーザ上にチップが平面上に配置されない積層され長いワイヤで相互接続されているが (SiP)、今後の高速化・高機能化に対応するためにはチップやインターポーザを積層・三次元化して配線長を短くして高速化・クロストーク低減し、高バンド幅を確保する必要がある。しかし、単に積層化し貫通ビアで接続するだけでは、上階の同僚を訪ね

るために迂回してエレベーターを利用するようなもので非効率である。特に、インターポーザのような大型部品では出入力ピン配置が複雑化するため、内部配線の短縮・立体化は急務となっている。このような試みとして、たとえば、マイクロマシンセンターなどでは true-3D 貫通配線が試作されている [Int. Conf. Electron. Packag. Vol.2009]。これはたとえばガラスインターポーザ内にフェムト秒レーザーで立体的に穴をあけ、低融点金属を充填する構造である。しかし、立体化や溶

融金属の充填性には限界があり究極的にはインターポーザあるいはプリント基盤内に埋め込まれたチップが超立体的に接続されていることが必要となるであろう。

## 2. 研究の目的

神経細胞、葉脈、血管など情報・物質束を輸送する生物組織は、粘菌のつくるネットワークがグラフ理論の与える解と類似であることが明らかにされているように、超立体的・マルチスケール最適な構造をもつ。すなわち本研究では、生体のつくるこのような構造を転写し、バイオミミックな配線構造を実現するためのキーとなる手法を提案し・実証するものである。

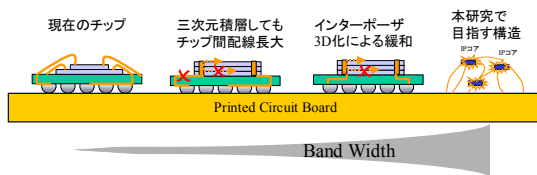


図1 本研究で目指す将来配線構造

## 3. 研究の方法

生体組織から貫通配線を作製する過程を図示する。まず、生体組織表面に貴金属を堆積させる。貴金属堆積後、絶縁体に埋め込む。その後、生体組織のみ取り除き、Cuを埋め込む。

ここで、本研究の目的を生体組織表面上への金属の堆積及び絶縁体への埋め込みとした。堆積させる金属には、Cu及びPtを使用した。また、金属薄膜の堆積には、超臨界流体中堆積法及びCuに対しては無電解めっき法も用いた。



図2 生体をテンプレートとした配線形成方法

## 4. 研究成果

### 4.1 粘菌コンピューティング

粘菌には数百もの種類が存在するが、その中でも培養が容易であるフィザルム (*Physarum polycephalu* 和名:モジホコリ) を、本研究で用いた。粘菌(菌核)をSEM観察すると、表面は凹凸が激しく直径  $1 \mu\text{m}$  程度の楕円形の物体が多数存在する。

すでに粘菌に情報処理能力が存在するこ

とはわかっている。我々が培養している粘菌にも情報処理能力が存在するかを確認するために、粘菌で関東圏の路線図を形成する実験を試みた。図に示すように寒天を関東地方の形に切り取り、寒天上の東京駅と定めた場所に粘菌を置いた。また、寒天上の関東圏の主要駅にあたる場所にエサを置き、粘菌の動作を観察した。15 hours 経過すると粘菌はエサを探すために円形に伸び広がったことが見てとれる。23 hours 経過すると粘菌は中心付近のエサ間を結び始め、35 hours 経過すると粘菌はさらに左側に進み路線図を形成した。実際の関東圏の路線図と比較すると、よい一致が見られ粘菌には情報処理能力が存在することが確認できた。

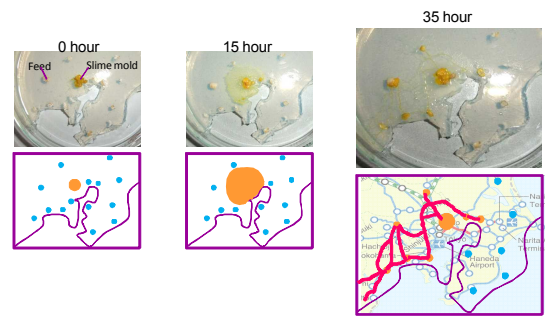


図3 各時間経過後の粘菌の写真と模式図、ならびに関東の鉄道網との比較

### 4.2 生体組織の耐熱性の評価

超臨界流体中堆積法を用いた金属の堆積は、高圧及び高温の雰囲気で行う。試料として使用する葉脈や粘菌を高温雰囲気中に封入すると、金属が堆積される前に燃焼してしまうことが懸念される。そこで、金属を堆積させる前段階として葉脈及び粘菌を高圧、高温雰囲気にさらし、耐熱性の評価を試みた。

本堆積プロセスにおける典型的な温度範囲は  $150 \sim 250^\circ\text{C}$  であるので、まず、この条件下における生体試料の変性の程度を確認した。原料錯体は使用せず、 $10 \text{ MPa}$  (うち水素  $1.0 \text{ MPa}$ ) で粘菌を  $30 \text{ min}$  保持した。図4にその前後の写真を示す。若干の収縮はあるものの形状はよく保たれている。図示しないが  $240^\circ\text{C}$  ではあきらかな変性がみられた。なお空气中で上記温度に加熱した場合にはいずれも著しい収縮・変性が起こった。超臨界流体  $\text{CO}_2$  は表面張力がゼロであり、生体組織の乾燥に広く用いられている。また超臨界  $\text{CO}_2$  は不活性でもある。本研究でもそのような不活性・ゼロ表面張力が作用して生体組織の変性が回避できたと考えている。

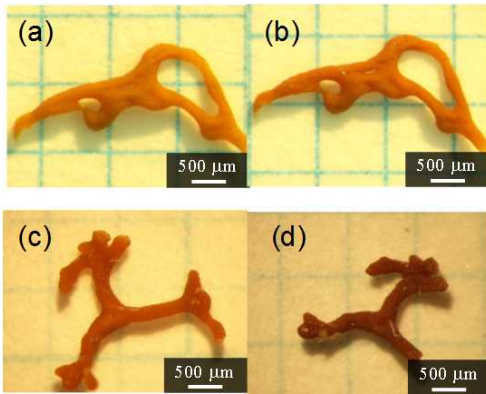


図4 粘菌の超臨界流体処理前後の光学顕微鏡写真

#### 4. 3 生体試料の直接メタライズ

金属薄膜堆積には、バッチ式超臨界流体中堆積法を用いた。被成膜物には、所定の大きさに切り出した粘菌を用いた。粘菌は寒天培地上の培養によりネットワーク解探索が可能であることを確認した。また、一部比較のためにナンテン (*Nandina domestica*) の葉脈試料も用いた。反応容器内に試料を封入し、超臨界  $\text{CO}_2$  中に溶解した有機金属錯体  $\text{Cu}(\text{dibm})_2$  ないし  $\text{Pt}(\text{hfac})_2$  を  $\text{H}_2$  によって還元し、Cu ないし Pt の薄膜を堆積した。原料の量は反応容器単位体積あたり  $7\sim 15 \text{ mg/cm}^3$  とした。

図5に Cu 堆積前(a)後(b)の粘菌の実体顕微鏡写真ならびに表面のSEM画像を、また図5(c)には同じく Pt についての結果を示す。いずれも堆積温度は  $200^\circ\text{C}$ 、堆積時間は 30 min である。堆積後はいずれも導通を有する金属膜が得られた。また、X線回折より堆積物が多結晶単金属であることを確認した。葉脈試料でも同様であった。また Cu については無電解めっきでも粘菌、葉脈とも堆積が可能であった。

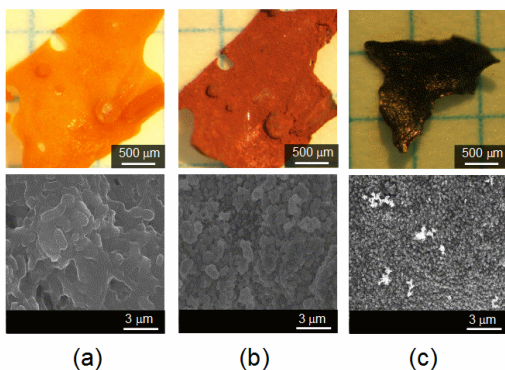


図5 メタライズ後の試料表面写真

図6に Pt メタライズした葉脈試料の断面エネルギー分散 X 線元素分析 (EDX) マップを示す。Cu の膜厚は数ミクロン程度であり、複雑な葉脈表面をよく被覆していることがわかる。同様の結果を Cu についても確認した。

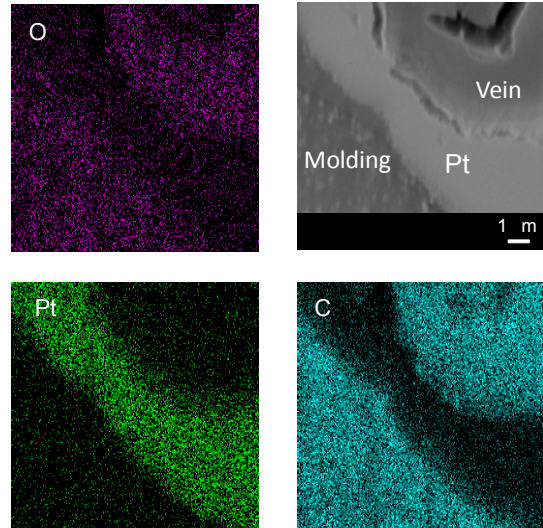


図6 Cu メタライズした葉脈試料の断面

堆積反応が生体上でも可能であることは興味深い。本堆積反応は金属錯体の還元反応により、表面での解離吸着が必要で、これは金属下地上でのみ優先的に進行する。特別な化学的な処理をほどこしていない (つまり処理前まで生きていた状態の) 粘菌上でも核発生と成長が起きることには、生体のもつ表面活性が大きく関係しているものと考えている。

#### 4. 5 塗布ガラスへの葉脈の埋め込み

濃度 5 %の  $\text{SiO}_2$  aq 3 ml 溶液に、任意の大きさに切り出した葉脈を浸漬、引き上げを 5 回施した。なお、引き上げ速度は  $200 \text{ mm/min}$  で行った。その後、電気炉内に葉脈を入れ  $120^\circ\text{C}$  に加熱し、5 min 乾燥させた。葉脈乾燥後、もう一度浸漬、引き上げ及び乾燥を 3 回と 5 回繰り返した。その後、 $450^\circ\text{C}$  で 30 min 葉脈にガラスを焼き固めた。

塗布ガラスへの埋め込み後、実体顕微鏡で葉脈の表面状態の観察を行った。埋め込み後は元の葉脈の形状を留めない程変化していた。また、残存していた試料はピンセットで触れただけで崩れる箇所があり 2 試料とも強度は非常に弱かった。埋包についてはさらなる検討が必要である。

#### 4. 6 超立体構造埋め込みプロセス開発

本研究は単に生体をメタライズするだけが主目的ではなく、生体のつくる超立体構造を金属に転写できるかどうかの問題である。超臨界流体をつかうと nm レベルの微細構造

について可能であることは研究代表者がすでに綿密な検討を行なってきた。実際本研究においてもまずアルミナナノホール（10nm径）において埋め込みが可能であること、さらにはCNTや活性炭などのナノ体上への堆積が可能であることの確認をまず行った。しかし、生体組織の様な比較的大きなものについての例はなかった。シード層として利用するPt埋め込みについての検討を行った。

図7に直径200nm、アスペクト10の高アスペクト構造内にPtを埋め込んだ例を示す。Ptは表面と相互作用が小さく核発生速度が低かったが、核発生層と堆積・厚化のプロセスを分けることでこのような埋め込みを達成できた。

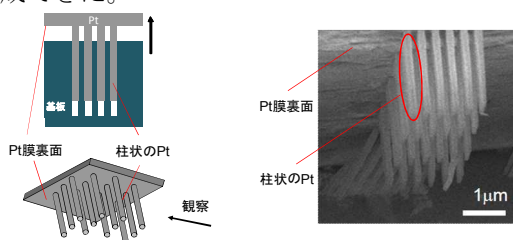


図7 高アスペクトホールへのPt埋め込み例

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕 計（1）件

- ① 近藤英一、望月裕文、渡辺満洋、超臨界流体を利用した生体組織のメタライズ、表面技術 第64巻8号、2013（掲載決定）。

〔学会発表〕 計（9）件

- ① 近藤英一、生体を利用した高バンド幅立体配線構造の提案、電気学会C部門大会（招待講演）2013年09月06日北見工業大学（北海道）
- ② 近藤英一、渡辺満洋、望月裕文、後藤利章 生体のネットワーク解探索機能を活用した配線構造の提案と生体メタライズ、第60回応用物理学会春季学術講演会 2013年03月29日 神奈川県工科大学（神奈川県）
- ③ Eiichi Kondoh, Hirofumi Mochizuki, and Mitsuhiro Watanabe Can bio veins be used as interconnects?, Materials for Advanced Metallization 2013 2013年03月11日 Kotholike Universiteit Leuven（ベルギー）
- ④ 近藤英一、超臨界流体を利用した金属薄

膜堆積技術、表面技術協会将来めっき技術検討部会第十回例会「あたらしいめっき関連技術」(招待講演) 2012年11月19日 回路会館（東京都）

- ⑤ 望月裕文、渡辺満洋、近藤英一、生体組織を利用した金属配線形成の試み、表面技術協会第126回講演大会 2012年09月28日 室蘭工業大学（北海道）
- ⑥ 近藤英一、超臨界流体を用いた金属薄膜堆積—メリットと展望—、化学工学会第44回秋季大会（招待講演）、2012年09月21日 東北大学（宮城県）
- ⑦ 松原正弘、近藤英一、3次元集積回路電極用Siマイクロ孔内側壁に超臨界流体を利用してCuを堆積した際の被覆特性、一般社団法人表面技術協会第124回講演大会（招待講演）2011年9月21日(水)~22日(木) 名古屋大学 東山キャンパス
- ⑧ 秋本竜昇、近藤英一、渡辺満洋、超臨界CO<sub>2</sub>を用いた多孔質カーボン上への金属微粒子担持における表面処理の影響、化学工学会第43回秋季大会 2011年9月14日~16日 名古屋工業大学
- ⑨ E. Kondoh, Sciences in micro-and nanoelectronics processes using an environmentally-friendly medium . supercritical CO<sub>2</sub> fluid and its application、NATO Advanced Research Workshop, Nanodevices and Nanomaterials for Ecological Security（招待講演）June 20-23, 2011 Hotel Jurmala SPA, Latvia

〔図書〕 計（1）件

- (1) 近藤英一、コロナ社、半導体・MEMSのための超臨界流体、2012、227

〔産業財産権〕

- 出願状況（計1件）  
 名称：導電性物質の形成装置及びその形成方法  
 発明者：近藤英一、松原正弘、竹内裕人  
 権利者：山梨大学  
 種類：特許  
 番号：特願2011-199678  
 出願年月日：2011年09月13日  
 国内外の別：国内

- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者

近藤 英一 (EIICHI KONDOH)  
山梨大学・医学工学総合研究部・教授  
研究者番号：70304871

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし