

～3次元実装や次世代半導体対応などを含めた～  
 これからのプリント回路基板に関わる基板材料や、封止・絶縁・放熱などの周辺材料の開発の動き

# 分子接合技術の三次元回路基板への応用 ～分子接合法 (i-SB 法) による三次元配線形成技術への応用開発～

鈴木 一孝 国立大学法人岩手大学 研究支援・産学連携センター 客員教授  
 地方独立行政法人岩手県工業技術センター 連携推進室 主任技術専門員

目黒 和幸 地方独立行政法人岩手県工業技術センター 機能材料技術部 上席専門研究員

黒須 恵美 地方独立行政法人岩手県工業技術センター 機能材料技術部 研究技能員

## 1 はじめに

かつて岩手県岩手郡松尾村（現八幡平市）に東洋一の硫黄鉱山があった。この豊富な地域資源の有効利用として、岩手大学で開発されたのが、図1に示すトリアジンチオール化合物である。この含硫黄有機化合物は、金属捕集剤やゴムの補強架橋剤、ポリ塩化ビニルの耐熱架橋剤として新幹線の床材（耐シガレット材）への利用、さらにはホースの耐薬品性向上部材、医療用品の各種部品の接合にと多くの産業分野に応用されてきている。トリアジン環によって分子間が凝集しやすいこと、直鎖状分子に比べて官能基が多いことに起因した化学反応のしやすさから、様々な異種材料間の接合（共有結合による強固な接合）に有効な化合物である。この化合物は、「分子接合剤」として、これまでも広く紹介されている<sup>1,2)</sup>。変革する社会ニーズに対応して、新規合成による材料開発とそのプロセス開発は継続され、最近はこの技術を分子接合法（以後 i-SB 法）として、その応用展開に努めている<sup>3,4)</sup>。

さて、近年、スマートフォンに代表される移動体通信を始め、家電、自動車、医療機器など、様々なモノがインターネットに繋がり、我々の生活を便利にするなど、高速通信社会が高度化する流れは、今後もますます加速すると言われている<sup>5,6)</sup>。加えて、自動車や情報通信端末等のエレクトロニクス実装部品数はさらに増加するといわれているが、その設置スペースは限られてい

る。この課題を解決する部品として、樹脂成形品へ導体配線を形成する三次元成形回路部品（3D-MID : Molded Interconnect Device の略）の需要が高まっている<sup>7)</sup>。

小型化、軽量化、複雑化に対応する回路基板に用いられる樹脂成形品表面への導体配線の密着性は、従来、アンカー効果に因ってなされている。高速通信における伝送信号の高周波化により、電流は導体の表面に集中して流れるという表皮効果の影響により、配線が粗いほどその導体損失を増加させる。従って、高周波化社会に用いられる配線回路の導体損失低減には、配線の平滑化技術が必要である。

そこで、我々は i-SB 法を用いて、次世代通信用エレクトロニクス実装部品への展開を目指し、樹脂成形品へ平滑な三次元配線形成するプロセス技術開発を進めることとした。本報では、その開発状況について以下に紹介する。

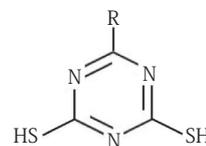


図1 トリアジンチオール化合物の化学構造

## 2 分子接合法 (i-SB 法) による配線プロセス

図2には、本技術 (i-SB 法) による平滑配線形成の原理を示す。1分子内に、光照射により反応性の化学種

を発生させ、樹脂材料の表面に結合する光反応性基と、めっきと結合する官能基とを有する光反応性分子接合剤を用いる。ナノオーダー膜厚の光反応性分子接合処理層が平滑な樹脂表面と導体（配線）材料とを接合する。これにより、樹脂表面に強固に接合した平滑配線を形成することができる。i-SB 法は光反応性分子接合処理層が配線材料と化学的に接合に関与している点が特長である。

図3には従来プロセスとi-SB法のめっき配線プロセスとの違いを示す。従来の工法として、レーザー照射で樹脂表面を粗面化して導体材料（めっき）を接合する方法を比較として示している。この方法では粗面化した樹脂材料に導体材料が入り込み機械的な接合強度を得ている。

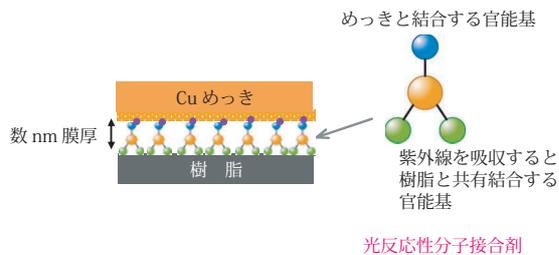


図2 i-SB 法による異種材接合

i-SB 法の具体的な処理プロセスは次のとおりである。樹脂表面に光反応性分子接合剤を均一塗布するために、予め樹脂表面の改質処理を行う。この改質処理が、光反応性基の反応を促進し、結果的に樹脂表面とめっきによる導電性物質との密着性をより一層向上させることができる。この樹脂表面の改質処理としては、紫外線（UV）照射処理、コロナ放電処理、プラズマ処理、エキシマ処理等が挙げられる。

光反応性分子接合剤は、溶媒に溶解した溶液として用い、その塗布方法は、例えば、浸漬、噴霧やロール塗布等が用いられる。その後の乾燥により、導入された光反応性分子接合剤は、光照射工程により基板表面と接合する。ここで用いる光照射の波長は、光反応性分子接合剤の樹脂表面への接合反応の活性化に有効である紫外線を用いている。光反応性分子接合剤が樹脂表面に、より強固に接合するため、さらに紫外線照射によって生じる樹脂表面の劣化も抑えるように、照射光の波長、ならびに積算光量を最適化が必要である。光反応性分子接合処理層が形成された樹脂表面には、金属イオンを還元するための触媒が担持されやすく、一般的な無電解めっき法で導体材料を形成することができる。

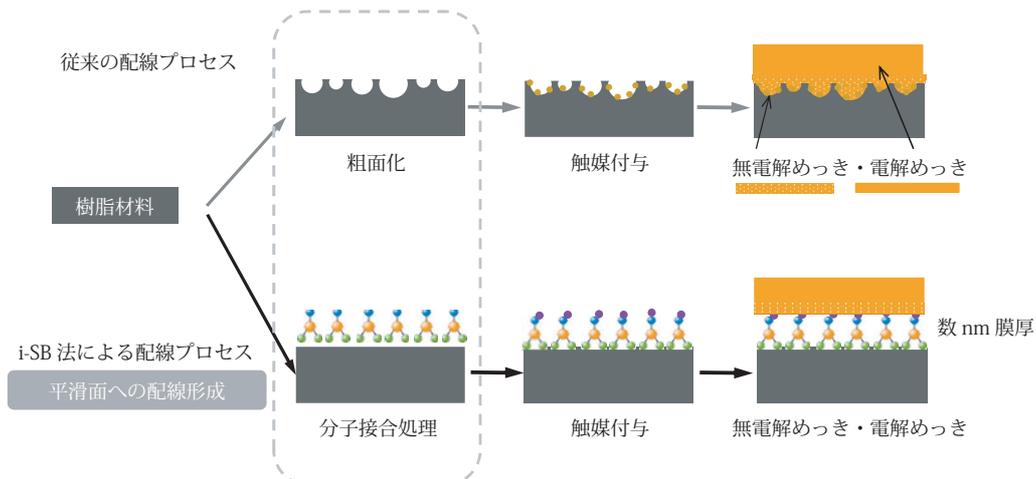


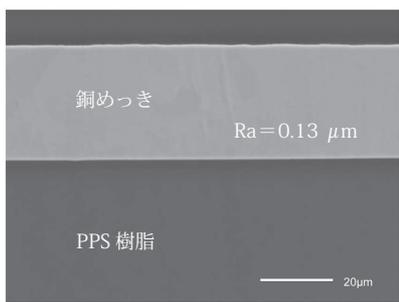
図3 従来法とi-SB法とのめっき配線プロセスの違い

～3次元実装や次世代半導体対応などを含めた～

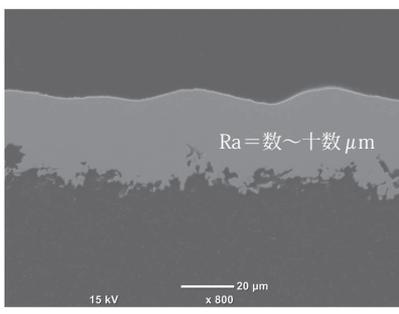
これからのプリント回路基板に関わる基板材料や、封止・絶縁・放熱などの周辺材料の開発の動き

### 3 分子接合法 (i-SB 法) による平滑配線の形成

写真1にポリフェニレンスルフィド (PPS) 樹脂に銅めっきした断面のSEM写真を示す。従来工法の一つであるレーザー照射による樹脂表面の算術平均表面粗さ (Ra) は数  $\mu\text{m}$  から十数  $\mu\text{m}$  であったが、i-SB 法によるめっき前の Ra は  $0.13 \mu\text{m}$  であった。この値は成形された樹脂表面の粗さと同等であり、平滑なめっきができていていることを示している。



i-SB 法でのめっき断面



従来工法のめっき断面

写真1 めっき断面のSEM写真

図4にはPPS樹脂へi-SB法で無電解めっきを行い、その後、さらに電解銅めっき(膜厚 $20 \mu\text{m}$ )した試験片の剥離強度を測定した結果を示す。PPS樹脂にめっきした試験片をJIS K6854による $90^\circ$ 剥離試験した結果、剥離強度は $0.7\text{kN/m}$ であった。市場要求では $0.5\text{kN/m}$ 以上と言われていることから、十分実用的な強度であることがわかる。めっきし難いと言われるPPS樹脂に対して表面を粗さなくとも、i-SB法は実用的な剥離強度のめっき層の形成に寄与していることを示唆している。

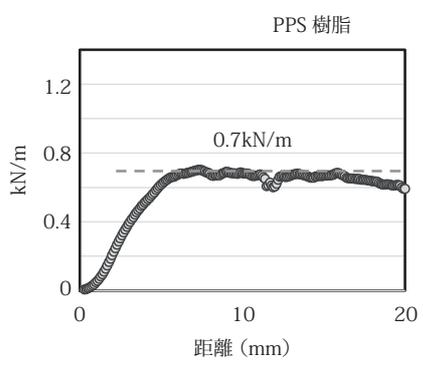


図4 PPS樹脂表面に形成しためっき膜の剥離強度試験結果

また、本i-SB法での微細配線の可能性を調査した結果を写真2に示す。樹脂表面全面に光反応性分子接合剤を塗布した後に、フォトマスクを用いて局所的に光照射して、無電解めっきでの配線形成の実験を行った結果である。線幅が $30 \mu\text{m}$ のめっき配線が観察できる。 $30 \mu\text{m}$ の隙間のあるフォトマスクにより線幅が $30 \mu\text{m}$ の光反応性分子接合処理層のパターンが得られ、その箇所に配線が形成されたと考えられる。

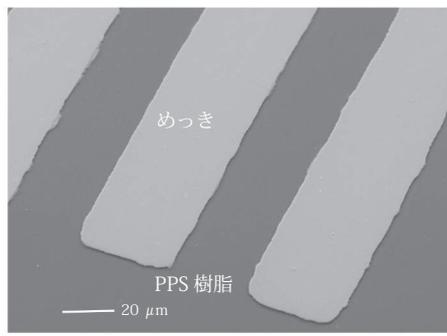


写真2 i-SB法による配線のSEM写真

### 4 3次元配線の形成

写真2では板状の樹脂表面への微細配線形成が可能であることを示したが、今後、実用化を考えると、樹脂成形品は複雑な形状であり、フォトマスクを密着させ、光の洩れがなく局所的に光照射制御することは困難である。そこで、我々は、光反応性分子接合剤を複雑な樹脂

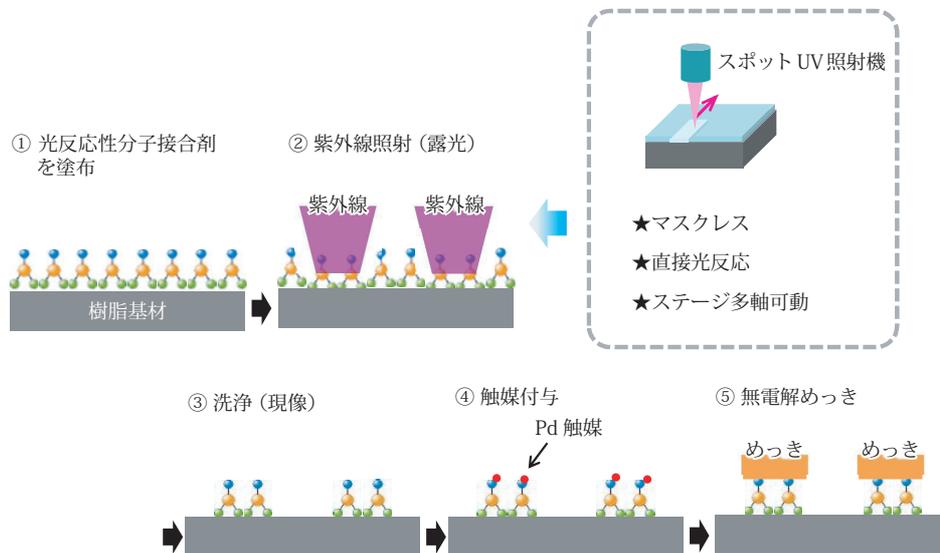


図5 i-SB法でのめっき配線プロセスのモデル

表面に導入し、その後、局所光を直接に樹脂表面に照射して光反応性分子接合処理層のパターンを形成する方法を検討することとした。そのプロセスを図5に示す。このプロセスでは、光反応性分子接合剤を全面に導入した成形品に、収束した紫外光(UV)を照射する。この時、樹脂成形品を固定したステージを走査し樹脂表面に光反応性分子接合処理層のパターンを形成する。次工程の洗浄により、未照射部の光反応性分子接合剤を除去する。

以上の工程により、樹脂表面を粗らすことなく、三次元形状の樹脂成形品の表面に平滑な配線パターンを形成することができる。試作試験した結果を写真3に示す。用いた成形品は、底面との段差が1mm程度ある台形状の突出部がある。台形状の中央には十字につながった配線が形成され、さらに、その中心の配線の両側に段差部を中心に2本の配線が形成されていることがわかる。底辺から約45°で立ち上がり形状を有する成形体の形状の底辺から段差部、さらには台形状の突出部へ向けて、局所UV光を数本、樹脂表面に直接照射し、その後の洗浄により光反応性分子接合剤処理層のパターンが得られたと考えられる。そのパターン形状に対して無電解めっきの三次元配線が得られたものである。



写真3 i-SB法による立体配線の試作

## 5 おわりに：まとめ

以上、高周波対応のために導体損失低減を目的として、平滑配線形成するための分子接合法(i-SB法)について紹介した。

i-SB法により試験した樹脂材料へのめっき膜は、表面粗さはRaで0.2 μm以下と平滑であるものの、その剥離強度は高く、PPS樹脂では0.7kN/m以上であった。また、回路としてめっきでの微細配線形成が可能であることも確認した。

現在、フォトマスクが不要な直接描画による三次元配線形成の可能性を確認したところである。引き続き、生産性向上に関する技術課題の解決と高周波での電気特性

～3次元実装や次世代半導体対応などを含めた～  
これからのプリント回路基板に関わる基板材料や、封止・絶縁・放熱などの周辺材料の開発の動き

の評価、あるいは品質の信頼性評価等により、実用化を目指す予定である。

ご興味を示す皆様からのご助言、ご協力を頂けると幸いです。

#### 謝辞

本稿は、文部科学省令和元年度に採択された地域イノベーション・エコシステム形成プログラムの支援を受けて行われたものである。

#### 参考文献

- 1) 森邦夫, エレクトロニクス実装学会誌, 19, No. 2, 91 (2016)
- 2) 森邦夫, 工業材料, Vol. 68, No. 1, 62, (2020)
- 3) 鈴木一孝, 目黒和幸, 黒須恵美, 石原綾子, プラスチックス, Vol. 72, No. 12, 36 (2021)
- 4) 鈴木一孝, 目黒和幸, 黒須恵美, 石原綾子, クリーンテクノロジー, Vol. 32, No. 12, 22 (2022)
- 5) 渡部慶二, 表面技術協会誌, Vol. 72, No. 6, 2 (2021)
- 6) 渡邊充広, 表面技術協会誌, Vol. 72, No. 7, 2 (2021)
- 7) 新野俊樹, 表面技術協会誌, Vol. 71, No. 4, 2 (2020)