

## 特設記事 MIDの進展状況

# プラスチック成形品への三次元配線形成

＜分子接合法（i-SB法）による高速伝送対応三次元成形回路部品の開発＞

岩手大学 鈴木 一孝

(地独)岩手県工業技術センター 目黒 和幸・黒須 恵美・石原 綾子

## 1. はじめに

総務省から令和2年6月に「Beyond5G推進戦略」が、そして、令和3年6月には経済産業省から「半導体・デジタル産業戦略」がそれぞれ公表されている。これによると日本が強靱で活力ある社会を実現するために、デジタル化は「将来の目標」ではなく、「達成しなければならない必須条件」とし、先端的な要素技術の研究開発を強力に推進する必要性が示されている。

これまで、日本国内では2020年から第5世代通信システム（5G）の導入により、高速大容量、多数同時接続、そして低遅延を実現する大容量通信システムの構築に向けたインフラ整備とその利用に向けたサービス展開が進められている。数年後には5Gでは処理できないとの予測もあり、次世代通信（Beyond 5G、あるいは6G）に対応する技術開発も活発化している。

岩手大学でも、令和元年度から文部科学省の「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の採択を受け、次世代エレクトロクス実装分野において競争力ある応用展開を図るために、微細配線・三次元配線のプロセス開発と高速伝送・高信頼性接合技術の発展向上のために低誘電材料の開発に取り

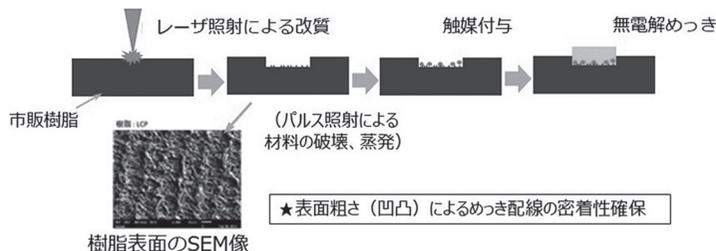
組んでいる。

本稿では、この事業で実施する導体損失低減に關する技術開発として、分子接合法（以後i-SB法）による高速伝送対応三次元配線技術開発の取り組み状況について紹介する。

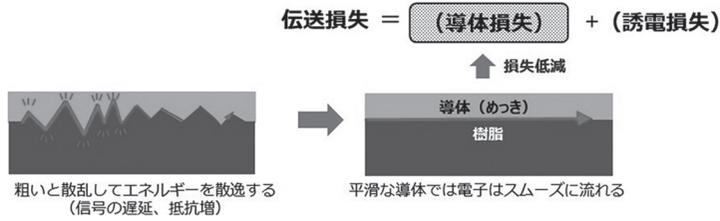
## 2. 三次元成形回路部品（3D-MID）と技術課題

我々が取り組む3次元配線技術の応用製品として、三次元成形回路部品（3D-Molded Interconnect Device；MID）がある。これは、樹脂成形体表面に金属膜で三次元的な電子回路を形成した機械的機能と電気的機能を兼ね備えた高機能部品であり、一般的なプリント配線板と比較して、小型化、部品点数の削減、組立工数の削減を図れることから近年脚光を浴びている。

第1図にはこれまでのMIDプロセスとしてSKWL2工法を示す<sup>(1)~(4)</sup>。樹脂成形体の表面に適切な条件でレーザー光を照射して任意のパターン形状に表面改質し、その後の湿式処理によって、レーザー改質された箇所にもみ、めっきの核となる触媒を担持して選択的に無電解めっきを施す工法である。樹脂材料への特殊な添加物の混練や樹脂成形体表面への事前



第1図 従来の代表的な三次元配線形成プロセス



第2図 高周波用途に求められる技術

処理を必要とせず、数多くの種類の樹脂やグレードに適用可能である等の特徴を有する。表面改質用のレーザ光源として超短パルスレーザを用いる透明なポリカーボネート (PC) や難めっき樹脂への回路形成や、微細配線の形成にも有効である。

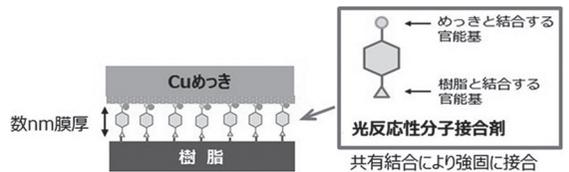
さて、はじめにでも紹介したように、5G、Beyond 5G、あるいは6Gと次世代通信で用いられる伝送信号の高周波化が進むと回路部品の伝送損失の影響が大きく、そのためにも誘電損失と導体損失との低減技術が必要である。誘電損失は、導体間の絶縁材料の誘電特性に起因し、信号の周波数に比例し増加する。従って、誘電損失の低減には、低誘電率及び低誘電正接特性を有する絶縁材料の利用が求められ、例えば、フッ素樹脂、液晶ポリマーなどが注目されている。本報では特に導体損失低減に取り組むものである。導体損失は導体の導電率と表面粗さに関係する。第2図に示すように、伝送信号の周波数が高くなると、表皮効果により電流は導体の表面に集中して流れ、粗いほど損失が増加する。電流が流れる深さは表皮深さで表され、周波数が高くなるに伴いその値は小さくなる。したがって、導体損失の低減には、導体表面の低粗度化、平滑化技術が必要とさ

れている。

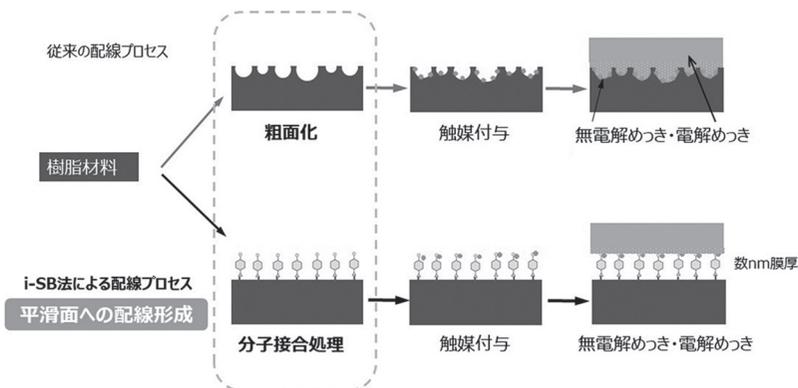
我々が開発を進めてきたMIDでも、高分子材料と配線材料同士の密着性は、主として材料表面の粗面化によるものであったが、今後は平滑面へ強固に配線を接合する技術が必要になる。さらに、立体形状では、被覆材により非回路部分を選択的に被覆する工程 (コスト面等) が困難などの問題が生じる。被覆材を用いない (マスク不要) 直接描画による三次元配線形成技術の開発も求められる。

### 3. i-SB法の特徴

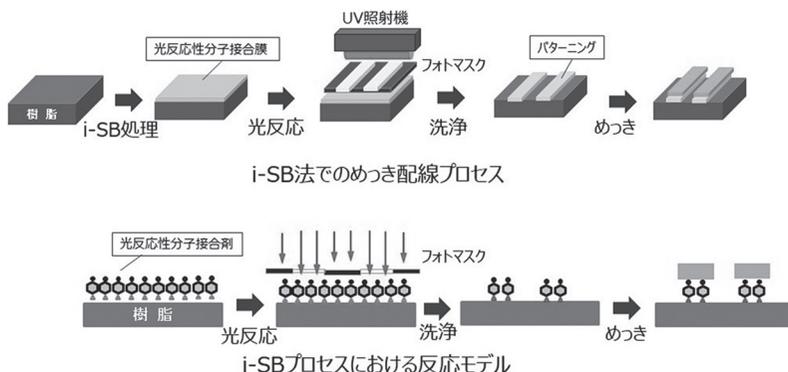
森らは分子接合技術により、エッチングフリーで樹脂表面への金属膜形成を可能とするメタライジング技術の開発に成功している<sup>(5)~(6)</sup>。分子接合技術は、



第3図 i-SB法による異種材接合



第4図 従来法とi-SB法とのめっき配線プロセスの違い



第5図 i-SB法でのめっき配線プロセスと反応モデル

材料Aと化学反応する官能基と、材料Bと化学的に反応する官能基から構成された2官能性化合物X(分子接合剤)を用いて、材料Aと材料B間を共有結合で接合する技術であり、単分子層により強固な接合を発現し、平滑樹脂表面への導電材形成に有効であり、我々が目指す高周波用途への適用が期待される。

第3図に本技術の特徴である、i-SB法による異種材接合の原理を示す。1分子内に、照射により反応性の化学種を発生させ、高分子材料の表面に接合する光反応性官能基と、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。次に、第4図により従来技術とi-SB法の平滑配線プロセスとの違いを紹介する。従来の主なプロセスは、レーザ照射での樹脂表面の粗面化によって導電材料(めっき)との接合強度を得ていたが、i-SB法では分子接合層が接合に関与している点が異なる。ナノオーダー膜厚の分子接合層が平滑な樹脂表面へ形成される導電材料と接合し、さらには局所的な照射によりパターン配線形成を提供することが期待される。

第5図にi-SB法でのめっき配線プロセスとその反応モデルを示す。i-SB法では、樹脂表面の改質処理が、光反応性分子接合剤における光反応性基との接合を促進し、樹脂基板とめっき工程により導電性物質との密着性をよりいっそう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。

溶媒に溶解した光反応性分子接合剤は、溶液として用い、樹脂基板表面に導入する。その導入方法は、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、照射工程により基板表面と光反応して接合する。ここで用いる照射の波長は、光反応性接合剤の樹脂基板への接合反応の活性化に有効である紫外線を用いる。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基板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して樹脂表面に光反応性分子接合剤を導入している。平板材料への配線パターン形成では、フォトマスク等の利用で局所的に照射し光反応分子接合膜のパターニングが得られ、一般的な無電解めっき工程でめっき配線が得られる。

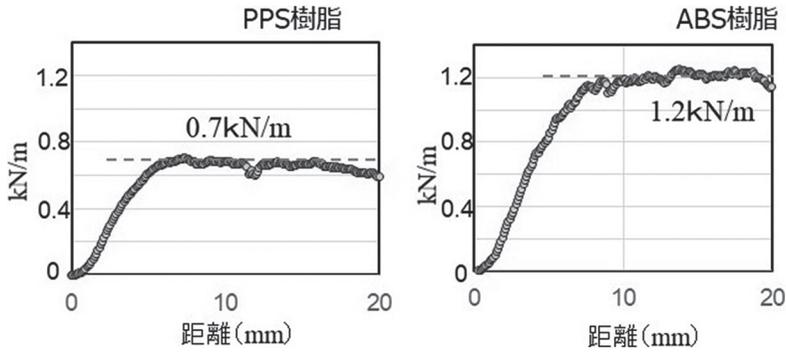
#### 4. 次世代MIDのための配線形成

最初にフォトマスクを用いないi-SB法で各種樹脂表面に無電解銅の全面めっきによる表面粗さを調べた結果を第6図に示す。めっき膜厚は数 $\mu\text{m}$ であったが、それぞれの表面粗さは樹脂表面の粗さと同等であった。密着性評価の一つである基盤目に切り込みを入れ、テープ剥離するクロスカット試験後の写真も付記して示しているが、それぞれの樹脂で良好な密着性が得られている。

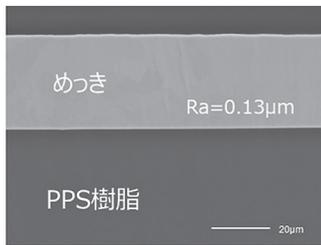
また、定量評価のために、第7図にはPPS樹脂とABS樹脂板へi-SB法で無電解めっきし、その後、さらに電解銅めっきした試験片の剥離強度を測定した結果を示す。PPS樹脂とABS樹脂にめっきした試験片をJIS K6854による90°剥離試験した結果である。PPS樹脂で0.7 kN/m、ABS樹脂では1.2 kN/mと非常に高い剥離強度であることが確認できた。市場要求では0.5 kN/m以上と言われていることから、十分実用的な剥離強度である。従来のように粗面化せ

樹脂の種類	ABS	PP	LCP	PPS
表面の状態 (レーザー顕微鏡像)				
表面粗さ Ra(μm)	0.03	0.07	0.16	0.13
クロスカット試験 の結果	 ○	 ○	 △	 ○

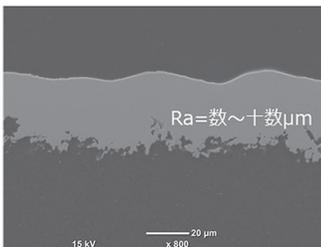
第6図 各種樹脂基板上的の全面めっき試験片の表面粗さ



第7図 各種樹脂表面に形成しためっき膜の剥離強度試験結果



i-SB法でのめっき断面



従来工法のめっき断面  
SKW-L2 工法

写真1 めっき断面のSEM写真

ずに高い剥離強度を示すことから、i-SB法が平滑な樹脂表面に強固なめっき層形成に寄与していることは明らかである。

次に、写真1にPPS樹脂に銅を全面めっきしたため

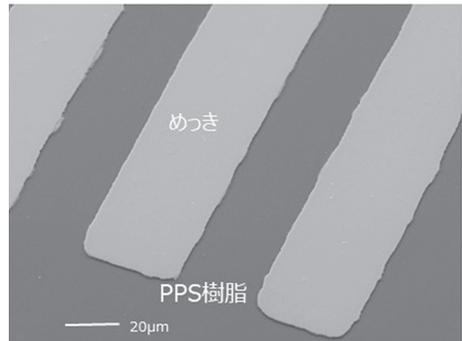
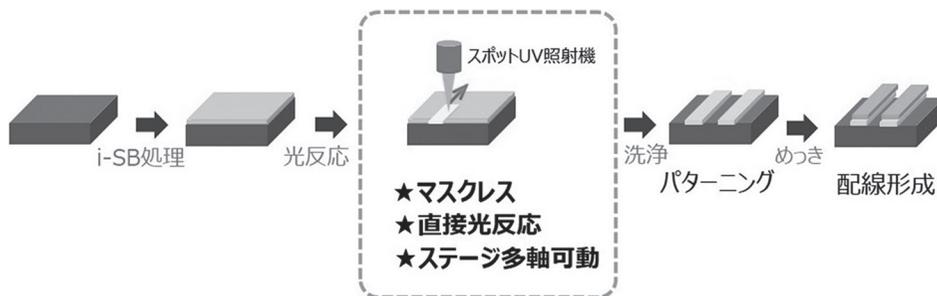


写真2 i-SB法による配線のSEM写真



第8図 i-SB法での直接描画三次元配線形成プロセス

つき断面のSEM写真を示す。従来工法のレーザー照射による樹脂とめっき界面の算術平均表面粗さ (Ra) では数 $\mu\text{m}$ から十数 $\mu\text{m}$ であったが、i-SB法によるめっきでは、 $Ra=0.13\ \mu\text{m}$ であった。この値はめっき前の樹脂表面の粗さと同等であり、粗面化せずに平滑な樹脂表面にめっきができていることが確認できた。

また、本i-SB法での微細配線の可能性を調査した。ここでは、PPS樹脂を用いて第5図に示すフォトマスクでの光照射により実験を行った。その結果を写真2に示す。選択的に光反応性分子接合処理膜ができたと考えられ、i-SB法により、線幅が $30\ \mu\text{m}$ 程度の微細配線ができることが確認できた。

## 5. 今後の展開

板状の樹脂表面に微細配線形成することを確認したが、今後の実用化に必要な、複雑な形状に被覆により光照射制御することは困難である。そこで、我々は現在、直接光照射して光反応性分子接合剤を導入する方法を検討している。そのプロセスを第8図に示す。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（紫外）光を照射、この時、樹脂成形品を固定したステージを走査し垂直に光を照射し、樹脂と光反応させ、次工程の洗浄により、未照射の光反応性分子接合剤を除去する。以上の工程により、樹脂成形品にめっき配線のための光反応性分子接合剤を局所導入することができる。

その後は、一般的な樹脂めっきプロセスで配線形成することができ、表面を粗らすことなく、平滑であり導体損失を低減する配線と考えられる。また、局所光の照射により、樹脂成形表面に微細な三次元配線形成できる工法である。現在、開発進行中であり、次の機会に紹介したい。

## 6. おわりに：まとめ

以上、高周波対応MIDの開発として、種々の樹脂材料に対して光反応性分子接合剤の導入および配線形成の開発状況を示した。

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 $Ra=0.2\ \mu\text{m}$ 以下と平滑であるものの、その剥離強度は高く、 $0.7\ \text{kN/m}$ 以上である。今後の高周波対応の配線として有効であることが確認できた。

また、回路として微細配線形成が可能であることも確認した。今後、被覆材を用いない（マスク不要）直接描画による三次元配線形成方法の開発が必要であり、その可能性を確認したところであり、引き続き、直接描画による立体配線形成に取り組むとともに、高周波での電気特性等の信頼性評価を進め、実用化を目指す予定である。

MIDはその歴史がプリント基板の進化、低価格化に追いつけなかったこと、設計の困難さ、信頼性の問題、3D実装の問題といった理由により、電子機器メーカーに認知されているとはまだまだ言い難い状況と考えられる。

これまで、産業界主導で開発され、組み合わせ技術で開発・製造されてきたMIDであるが、今後は、アカデミアの新たなオリジナル技術も導入しながら製造技術を進化させる必要がある。また、品質評価方法などの標準化を進め、より多くのユーザーが導入しやすい環境を整える必要がある。引き続き、我々は本開発を継続するので、興味を示される皆様からの助言、協力を頂けると幸いである。

## 【謝辞】

本稿は、文部科学省 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) 目黒和幸・村上総一郎・吉澤徳夫：プラスチック、4、67 (2014)
- (2) 目黒和幸・村上総一郎・吉澤徳夫：菅野信、第84回レーザ加工学会講演論文集、p.216 (2016)
- (3) 目黒和幸：日本MID協会第14回定期講演会 (2016)
- (4) 目黒和幸：第55回産総研・新技術セミナー (2017)
- (5) 森邦夫：エレクトロニクス実装学会誌、19、No.2、91 (2016)
- (6) 八甫谷明彦：エレクトロニクス実装学会誌、23、No.2 (2020)

【筆者紹介】

**鈴木一孝**

(大)岩手大学 研究支援・産学連携センター  
客員教授

(地独)岩手県工業技術センター 機能材料技術部  
首席専門研究員 兼 機能材料技術部長

**目黒和幸**

(地独)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・石原綾子**

(地独)岩手県工業技術センター 機能材料技術部