

分子接合法 (i-SB法) によるプラスチック 成形品への三次元配線形成技術

岩手大学 研究支援・産学連携センター
客員教授 鈴木 一孝

2021年7月8日

緒言

- 近年、プラスチック（高分子材料）などの成形品の基材表面に、立体的に導体配線を形成する三次元成形回路部品（MID：Molded Interconnect Device）への需要が高まっている。
- MIDは高分子材料と導電性材料が接合された複合材料であり、材料同士の密着性は重要な品質特性である。その密着性を得るために、材料表面に凹凸形成や反応性化合物を付与する方法が知られている。
- また、MID形成方法として、被覆材を用いて非回路部分を選択的に被覆することにより、非被覆部分に回路を形成する方法がある。

従来技術とその問題点

★高周波用途では、基板表面に凹凸が存在すると、信号の伝達ロスや発熱の原因となるため好ましくなく、さらに、基板表面の凹凸により導体配線の微細なパターンの形成が妨げられるという問題がある。

★プラスチック成形品は形状が立体的であるため、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）で困難が生じる。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、基板表面を粗面化せずとも、基板と導体配線（導電性物質）とを十分に密着させることができる平滑配線形成に成功した。
- i-SB法により、被覆材を用いず（マスク法によらず）三次元配線パターンを形成する方法の開発を目指している。

三次元成形回路部品 (3D-MID)

3D-MID

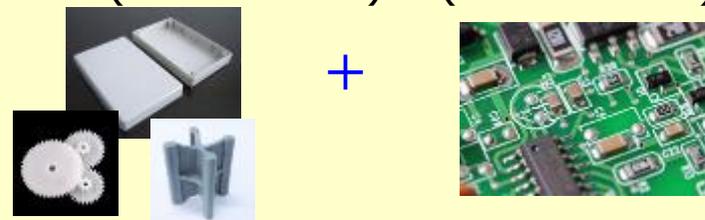
Molded Interconnect Device

機械的機能と電気的機能をもった
電気回路配線付きプラスチック成形品

Mechatronic Integrated Device

単なる立体的なプリント配線板ではなく、
様々な機能を併せ持ったデバイス

①樹脂成形品 + ② 3次元形状 + ③ 3次元回路
(機械的機能) (電気的機能)



※上記①②③の3要素を基本とし、
樹脂成形品表面に金属膜で回路形成

※日本MID協会の定義

最近では、電子回路形成するストレッチャブルフィルムと一体3D成形する技術
(IME : In Mold Electronics) が含まれる場合もある。



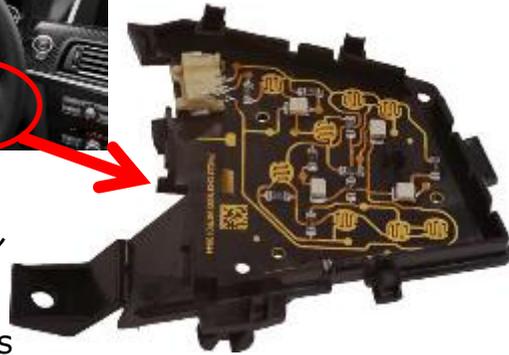
NISSHA株式会社H.P.より

3D-MIDの製品例

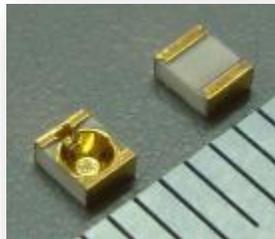


BMW Z4 (E89)
マルチファンクション
ステアリング

LPKF Laser & Electronics

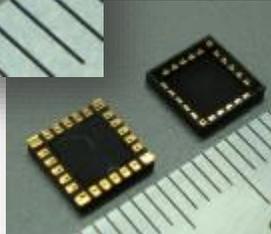


バイクスロットルレバー
LPKF Laser & Electronics



MEMSセンサ

赤外LED
三共化成



エビナ電化工業

スマートフォン
アンテナ



ウェアラブル、タッチセンサ
エビナ電化工業、
LPKF Laser & Electronics

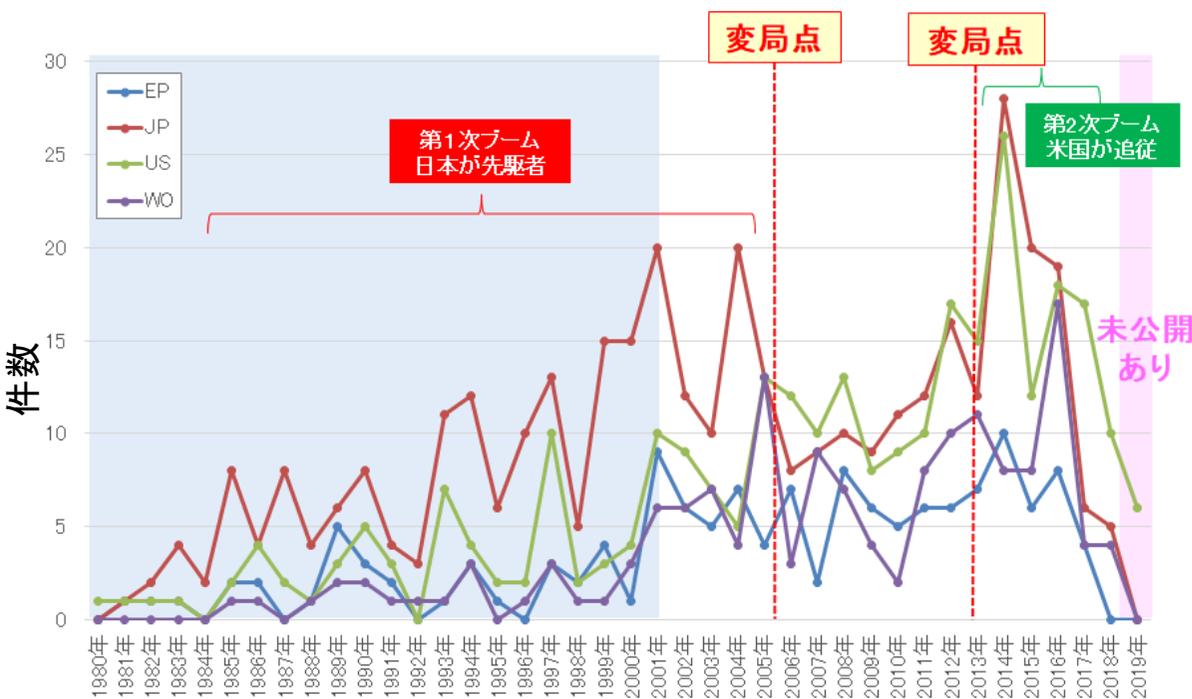
パッケージ基板

Panasonic



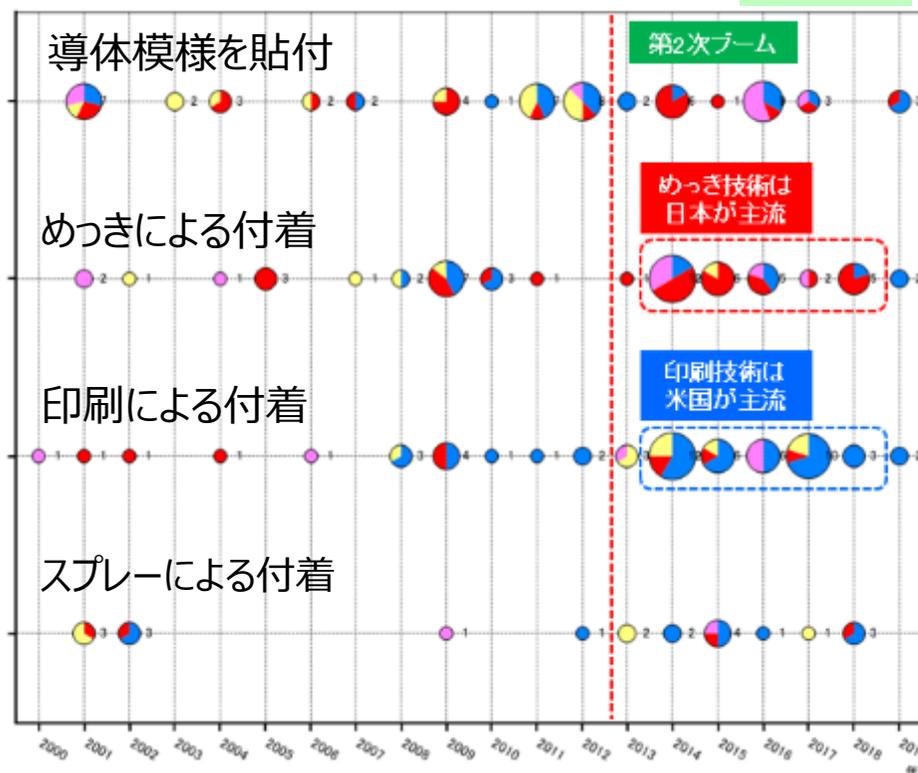
HTC J ISW13HT

三次元配線形成技術の従来技術調査



出願推移(国別)

三次元配線形成技術の特許出願は、2006年までは「日本」の出願件数が突出。2013年以降は、「米国」の出願件数が急。



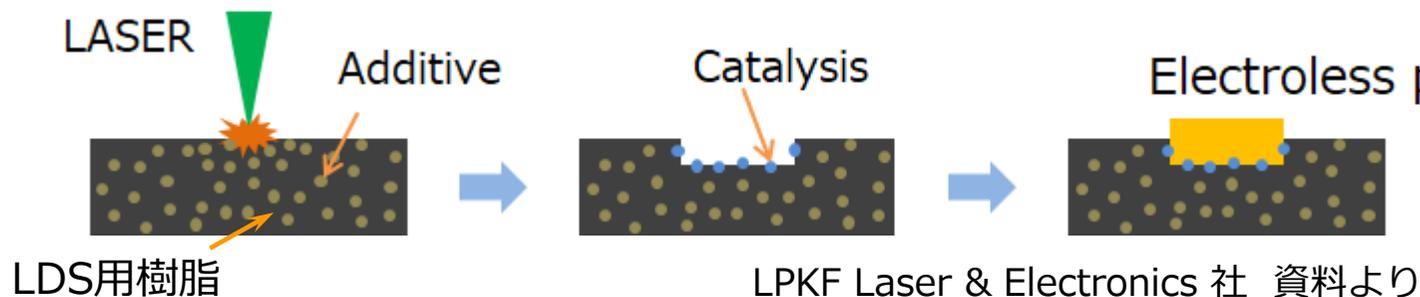
出願推移(配線手段)

三次元配線形成技術での、「めっき技術」は「日本」の占める割合が多く、「印刷技術」は「米国」の占める割合が多い。

三次元配線形成技術の技術課題

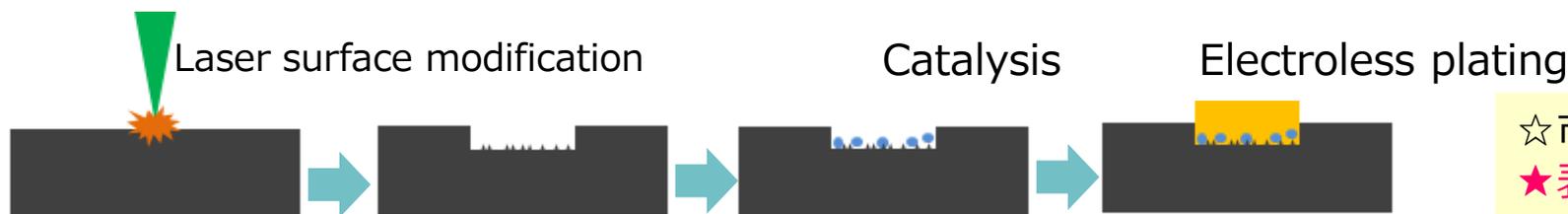
- 主な従来技術とその課題

LDS Process (LASER Direct Structuring)

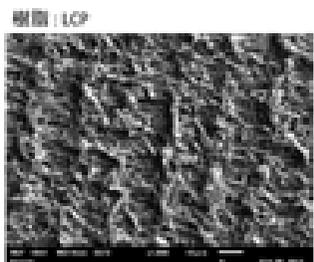


- ☆ 簡便な工程
- ★ 材料コスト高い
- ★ 透明材料が困難
- ★ 表面粗さ

SKW-L2 工法 (Sankyo Kasei Wiring)



- ☆ 市販材料に適用
- ★ 表面粗さ



樹脂表面のSEM像

各工法における表面粗さ

SKW-L2工法		LDSE工法
量産用従来レーザ	超短パルスレーザ	
Ra 3 ~ 5 μm	Ra 1.5 μm	Ra 8 ~ 11 μm

3D-MIDへの高周波対応の要求

準ミリ波～ミリ波の高周波帯のニーズが高まっている。
 第5世代移動通信システム(5G) → 3.7、4.5、28 GHz帯
 車載レーダー(自動運転。衝突防止) → 76 GHz帯



伝送損失 = (導体損失) + (誘電損失)

周波数が高くなると電流は導体表面を流れる

表皮厚さ $d = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$ 表皮効果



5Gでは、表面粗さ <math><0.3 \mu\text{m}</math>を要求

誘電損失 $\propto f \sqrt{\epsilon} \tan \delta$

誘電率(Dk) $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$ 誘電正接(Df) $\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$

Clausius-Mossottiの式

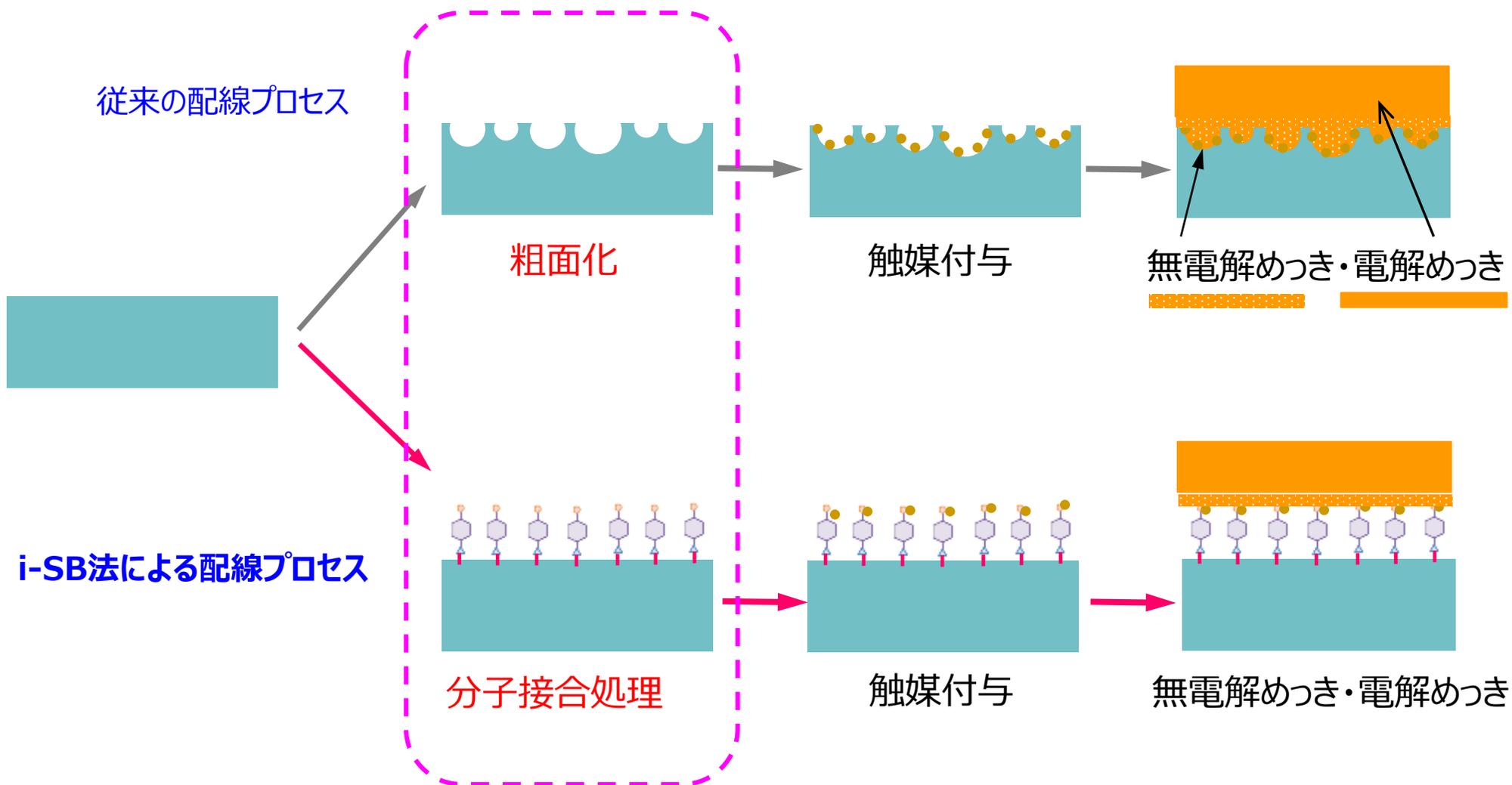
$\epsilon = \frac{1 + 2a}{1 - a}$ $a = \frac{\Sigma P_M}{\Sigma V_M}$ モル分極率 / モル体積

低tanδ材料

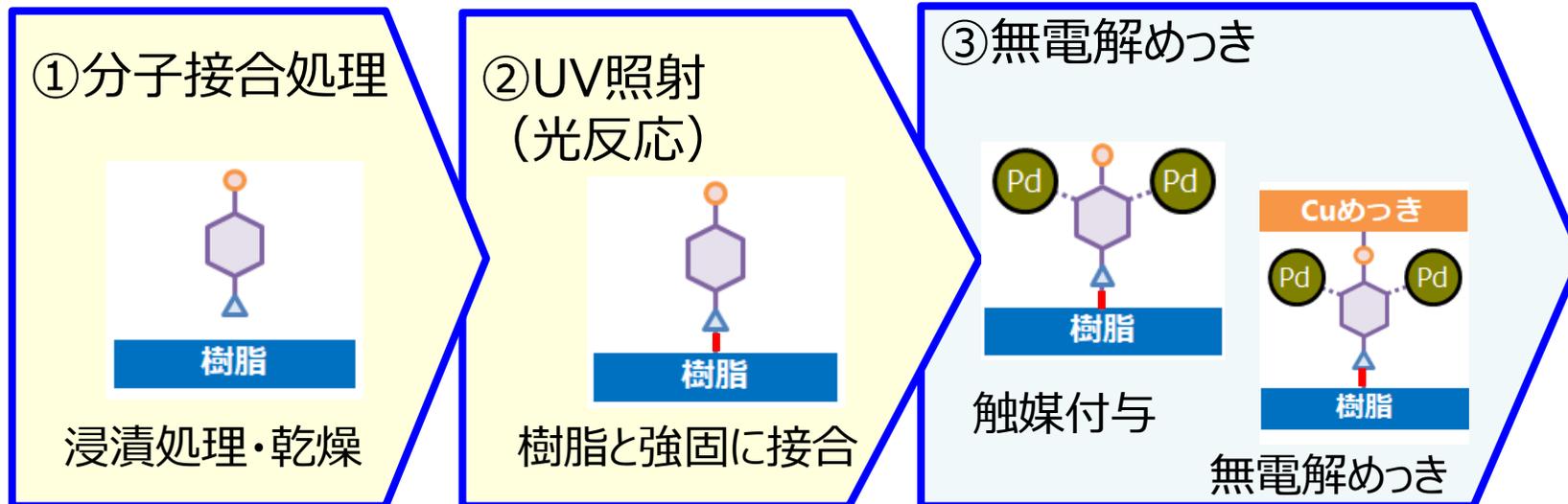
PP, PE, COC, COP,
LCP, SPS, PPS, フッ素系ポリマー ...

誘電率が低いと遅延が少ない

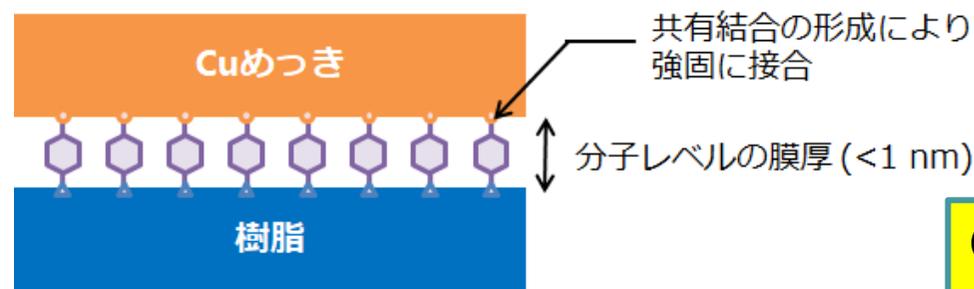
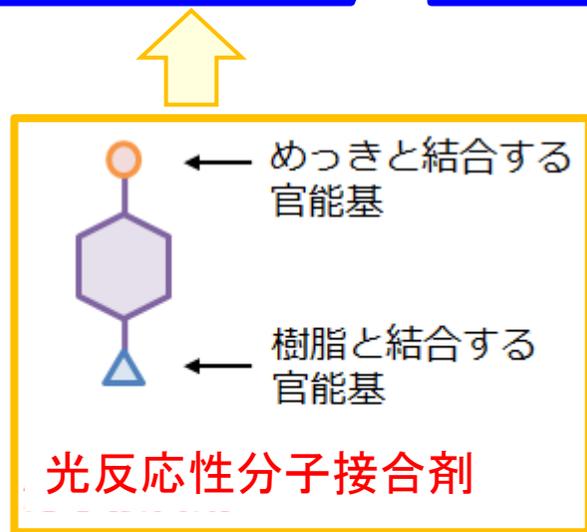
従来の樹脂めっき配線プロセスとi-SB法との違い



分子接合 (i-SB) 法の処理工程



- 1) 全面めっき
→平滑配線
- 2) 被覆材による
局所めっき
→局所配線
- 3) 直接局所めっき
→新規工法開発



- 配線の面粗さ
- 配線の接合強度
- 微細配線形成

分子接合 (i-SB) 法による全面めっきの結果

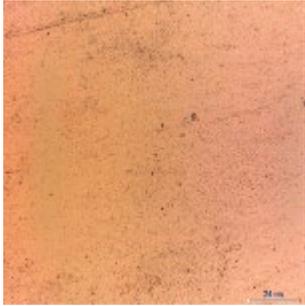
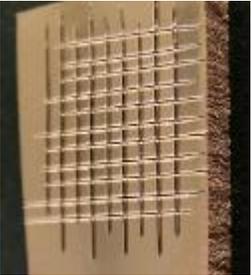
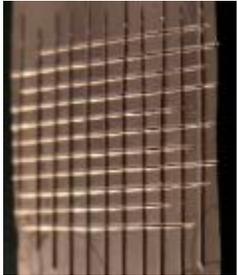
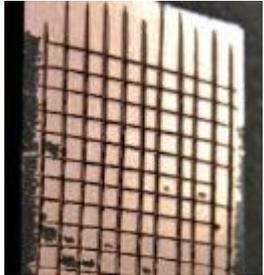
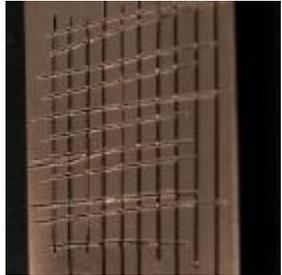
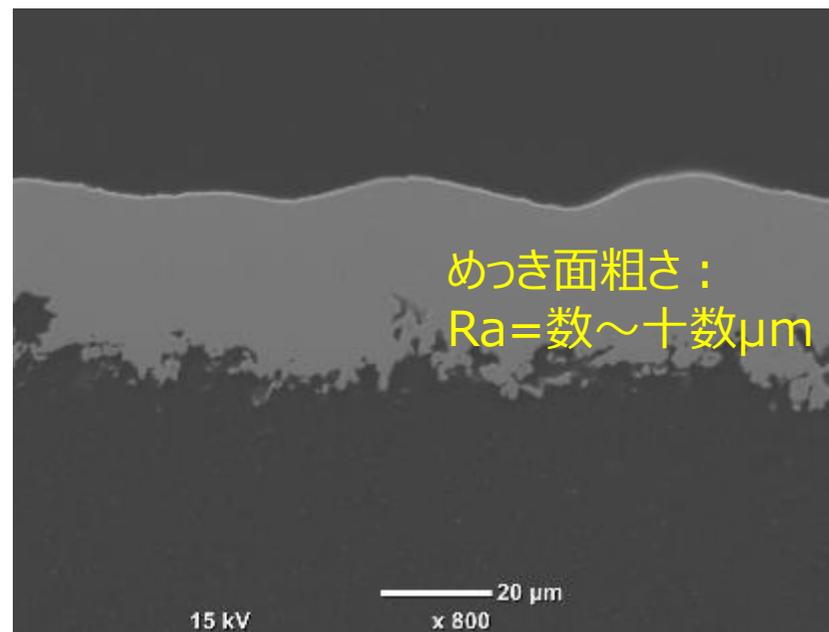
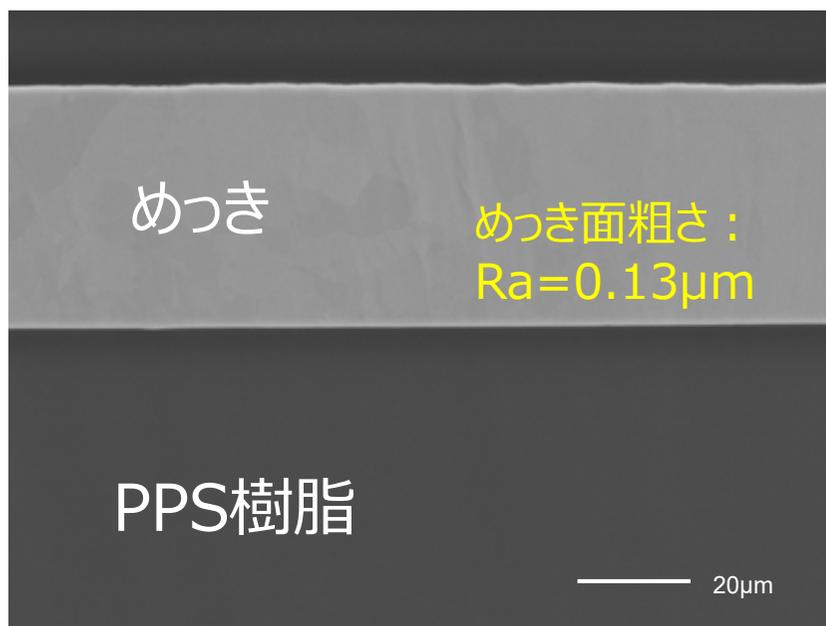
		ABS	PP	LCP	PPS
表面の状態 (レーザ顕微鏡像) 100 mm 					
表面粗さ Ra (μm)	処理前	—	—	0.16	0.15
	処理後	0.03	0.07	0.16	0.13
クロスカット試験 の結果					
		○	○	△	○

図1 各種樹脂基板上の全面めっき試験の表面粗さ

分子接合 (i-SB) 法によるめっき配線断面の 観察結果



分子接合 (i-SB) 法の断面

従来工法の断面

SKW-L2 工法

図2. 樹脂板への配線めっき断面のSEM像

分子接合 (i-SB) 法によるめっき配線の剥離強度結果



ピール強度測定機

めっき密着性評価
90°剥離試験
(JIS K 6854準拠)



引張試験後の写真

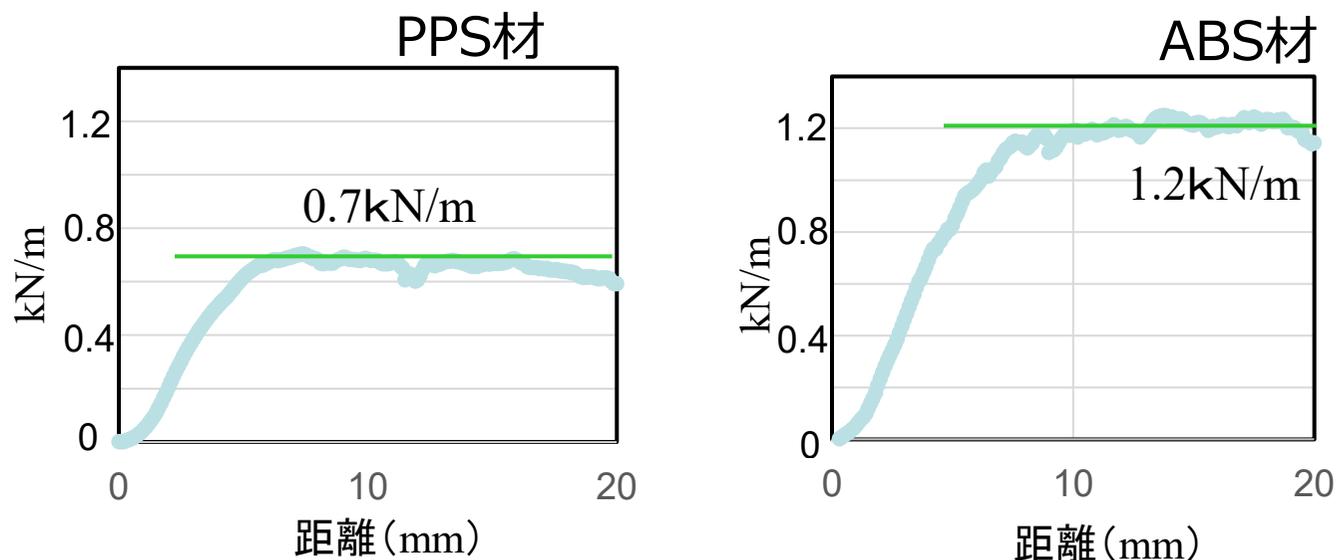


図3 各種樹脂表面に形成しためっき膜の剥離強度試験結果

分子接合 (i-SB) 法での被覆材利用による 局所めっきの結果

選択結合法

何もついていない基板に

分子接合剤を ↓

付けたい部分にだけ付与する

選択分解法

分子接合剤を全面につけ

不要な部分を除去する

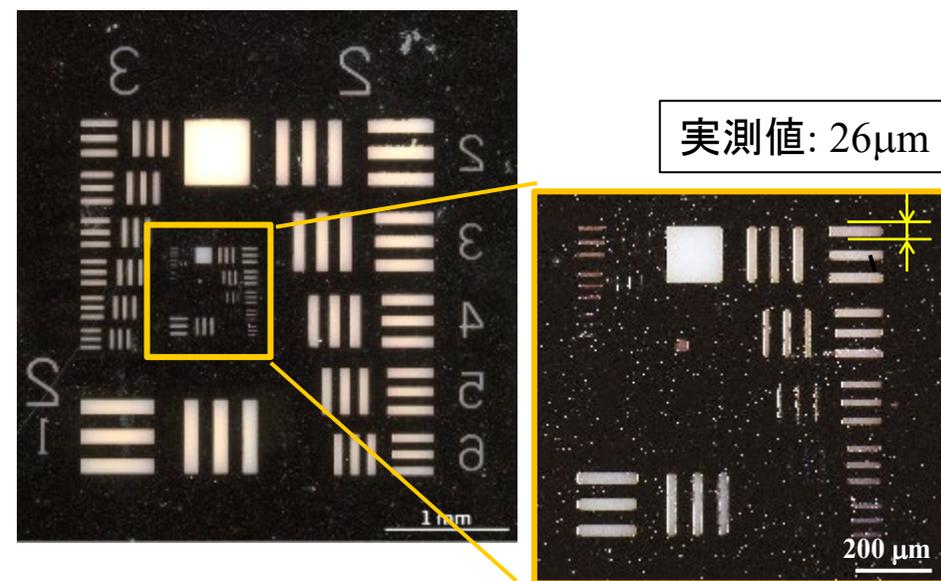
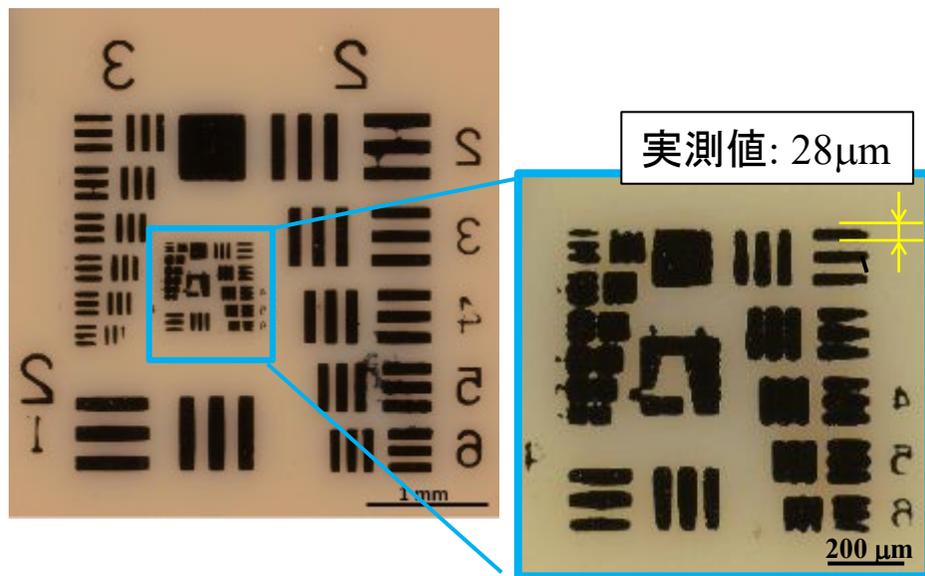
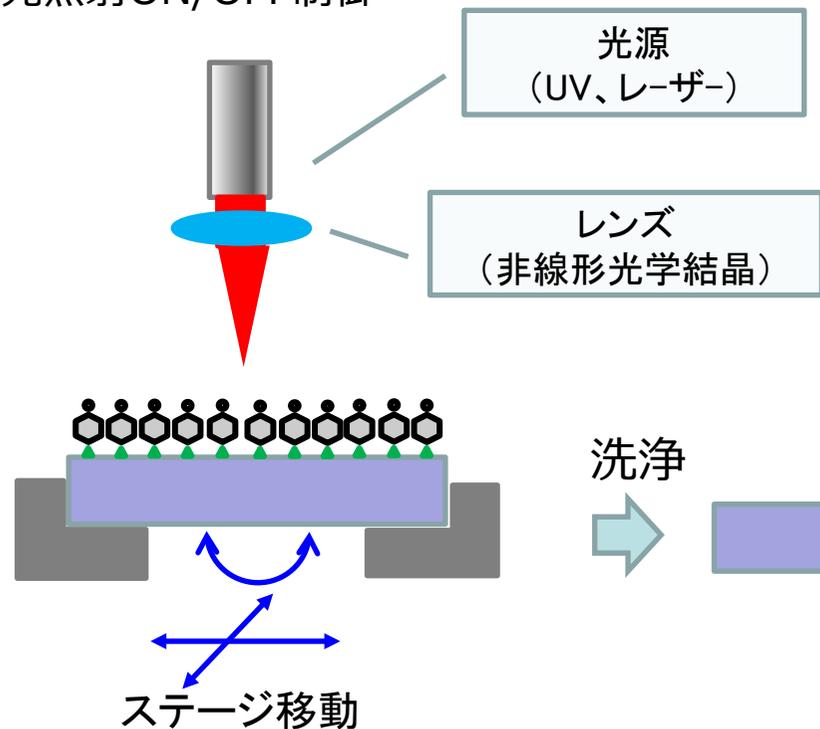


図4 分子接合技術によるPPS材への配線加工の試験結果

分子接合 (i-SB) 法での直接配線形成技術

光照射ON/OFF制御



樹脂成形品表面を粗面化しないで密着性が得られる三次元配線を形成する成形回路部品の製造方法

【作用効果 1】 樹脂基板の表面が平滑であっても、樹脂基板と金属配線を強固に接合できるため「**導体損失**」が低い配線パターンを形成することが出来る。

【作用効果 2】 局所光の照射により樹脂基板の表面に**直接分子接合剤**を接合することができるため、**微細な 3次元配線**を形成することが出来る。

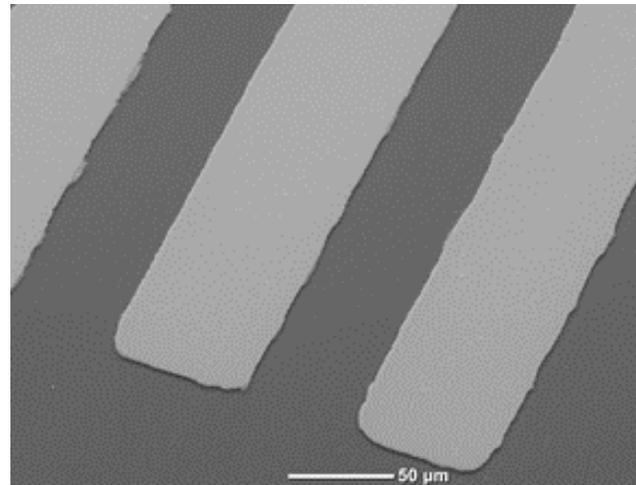


図5 樹脂板へのめっき配線のSEM像

まとめ

- ✓ 高周波対応MIDの開発として、種々の樹脂材料に対する分子接合剤の導入および配線形成の開発を行った。
- ✓ 分子接合処理により、試験した樹脂材料へのめっき膜は、クロスカット試験により剥離しないこと、0.7 kN/m以上の強度を確認し、その表面粗さはRa=0.2μm以下（基材表面と変わらない）であった。
- ✓ 樹脂材料へのめっき微細配線形成を確認した。

以上、高周波対応MID向けに分子接合（i-SB）法による平滑めっきおよび微細配線技術を開発。

引き続き、立体配線、および高周波特性に適用化する評価を進め、実用化を目指す。

想定される用途

主要活用業界	主な活用製品/デバイス（可能性含む）
車載部品	ハンドルスイッチ/ステアリングデバイス/車載用ミリ波レーダー/車載カメラ/LEDランプ/シャークインアンテナ/ETC車載機 etc.
医療/ヘルスケア	内視鏡カメラモジュール/エコー（ヘッド）/補聴器/歯科用治療機器/体温計/ウェアラブルヘルスケアデバイス etc.
家電/コンシューマー	LED照明/デジカメ関連デバイス/スイッチデバイス/マイクロプロジェクター/ジェスチャーセンサー/スマートウォッチ/ワイヤレスイヤフォン/スタイラスペン/ヘッドマウンテンディスプレイ etc.
スマートフォン/モバイル	アンテナ/カメラモジュール/近接センサー/圧力センサー/タブレット機器/ノートパソコン etc.
産業/インフラ	パッシブRFID/ロボット向けデバイス/ドローン/航空宇宙向け電子デバイス etc.

実用化に向けた課題

- 現在、各種樹脂平板に、めっきでの直接微細配線形成が可能のところまで開発済み。
- 今後、樹脂成形品への直接描画配線技術について実験データを取得・構築し、回路部品に適用する条件設定を行っていく。

企業への期待

- 未解決の各種樹脂成形品への3次元配線形成については、条件の最適化により克服できると考えている。
- 樹脂めっき技術に優れた企業との共同研究を希望。
- また、次世代成形回路部品を開発中の企業、エレクトロニクス分野への新製品導入を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 三次元成形回路部品の製造方法
- 出願番号 : 特願2021-046645
- 出願人 : 国立大学法人岩手大学
地方独立行政法人岩手県工業技術センター
- 発明者 : 鈴木一孝、目黒和幸、村上総一郎、村松真希、
樋澤健太、黒須恵美、石原綾子、
平原英俊、村岡宏樹、桑静

お問い合わせ先

岩手大学

研究支援・産学連携センター

地域イノベーション・エコシステム形成事業事務局

T E L 019-621-6854

F A X 019-621-6892

e-mail iwateeco@iwate-u.ac.jp