

# 光MODによる基板・導体界面接合の平坦化,接合技術

元産業技術総合研究所  
製造技術研究部門 副部門長

土屋哲男

## 本日の講演内容

1. 光表面化学修飾ナノコーティング技術を用いた高強度異種材料接合技術
2. 光反応プロセス（光MOD）による表面界面制御

# 新たな価値で経済発展と社会課題の解決を両立

## 高齢化社会

### 情報・人間工学領域

高齢化社会におけるQOL向上やサービスの効率化  
・ウェアラブルセンサ/人支援ロボット技術

## 生命工学領域 次世代治療・診断技術研究ラボ

医用材料や治療デバイス  
次世代治療・診断機器  
簡便・迅速・高精度体外診断



予防検診・ロボット介護

健康寿命延伸・社会コストの抑制

## ゼロエミッション

太陽電池、燃料電池、リチウム電池、キャパシタ  
太陽熱、熱電発電  
SiC, GaN, ダイヤモンドパワエレ、LED、有機EL

### エネルギー・環境領域



エネルギーの多様化・地産地消

安定的確保、温室効果ガス排出削減

## 5G,6G通信システム Society 5.0

1 貧困をなくそう



2 気候をゼロに



農作業の自動化・最適な配送

食料の増産・ロスの削減

12 つくる責任  
つかう責任



最適なバリューチェーン・自動生産

持続可能な産業化の推進・人手不足解消

9 産業と技術革新の  
基盤をつくろう



## 食の安定供給

〔内閣府作成〕

出典:内閣府ホームページ ([Society 5.0 - 科学技術政策 - 内閣府 \(cao.go.jp\)](https://www.cao.go.jp)) に追記

## インダストリアル農業にむけた先進センサ開発

マルチセンサ(機能セラミックス)  
温度、照度管理、CO<sub>2</sub>湿度

### エレクトロニクス・製造領域

## 循環ものづくりと少量多品種生産

「データベース化」・「プロセスモニタリング」  
ディープラーニングによるデジタルツイン製造

# 高速通信/先進センサ/先進計測技術によるIoT社会の構築

## 5, 6G技術開発

### 超高速

20Gbps→100Gbps

100倍速いブロードバンドを提供  
⇒2時間映画を3秒で取得(LTE5分)

### 超低遅延

1msec→ <1msec

遠隔地でリアルタイムにロボット操作可能

### 多数同時接続

10万//km<sup>2</sup>→1000万//km<sup>2</sup>

スマートホン、パソコン、センサなどの機器  
がネットに多数同時接続



## インフラの高度化

・高耐久性部材開発

高耐候・撥水ポリカ防護柵

ポリカーボネート 透明部材

光変化検知による事故防止センサ



高速道路上に設置されているスマートシステムと連携  
「橋梁の健全性監視」「AIによるインターチェンジ・渋滞監視」

・検査技術の高度化



## 気候変動・災害対策

- ・食の安定供給
- ・インダストリアル農業
- ・遠隔農業

## 2. 植物工場 温度、光量センサ(蓄光)



波長変換シートによる発芽促進  
光量センサで管理

光技術による植物工場の省エネ・低コスト化に貢献



# SDGsとものづくり革新

・エネルギー関連

・気候変動・災害対策

・食の安定供給

・インダストリアル農業、遠隔農業、漁業

・高齢化・医療

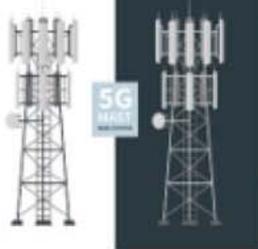
→国際化(異文化)

→発展途上国

・ウイルス対策

・AI/IoTインフラ

5, 6G通信材料・部材・センサ



価値創造

・機能、性能

・コスト

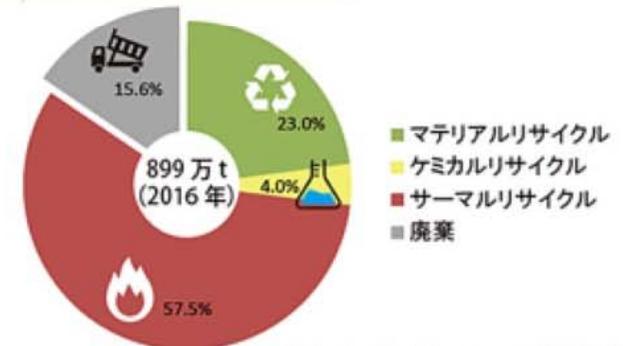
・利益

+

・環境負荷低減

・製造エネルギー

・廃棄物



出典：(一社)プラスチック循環利用協会



資源循環型ものづくりの推進へ

リデュース⇒センシング⇒リペア

# ポスト5G/6G向け高周波対応部材開発

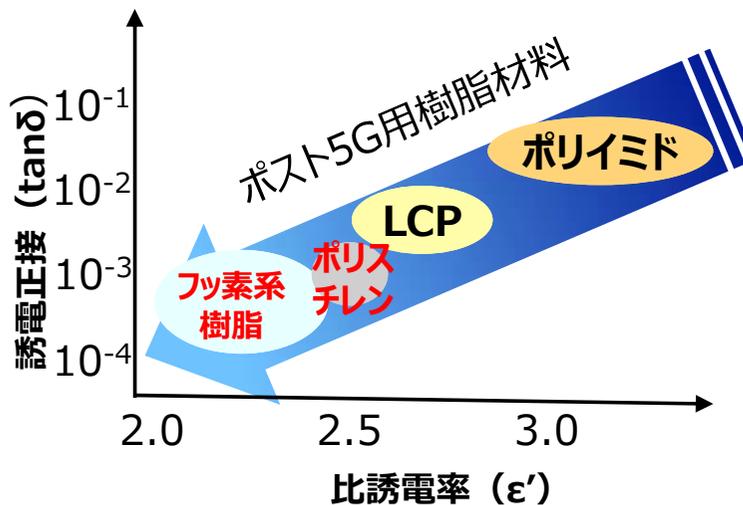
超高速・大容量通信、超低遅延、超低消費電力、超多接続に向けた高周波対応部材の開発



5G/6G用高周波対応部材

- ・アンテナ
- ・プリント配線板
- ・半導体パッケージ

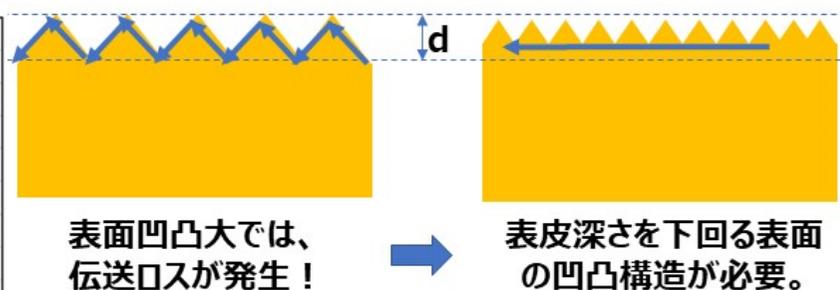
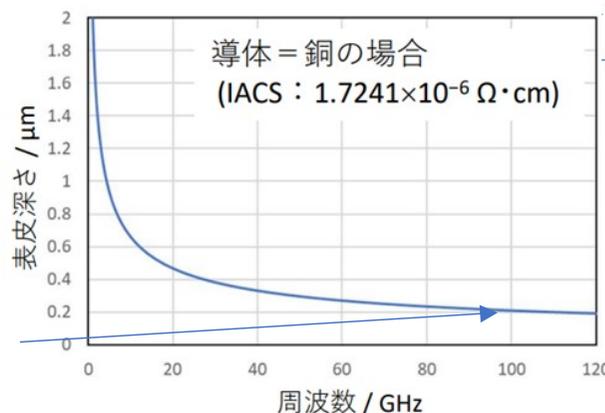
## ポイント①低誘電率／低誘電正接材料



⇒低誘電率材料との異種材料接合を開発

## ポイント②導体表面の粗さ

表面粗さ > 表皮深さdの場合



低ラフネスの金属膜生成技術を開発

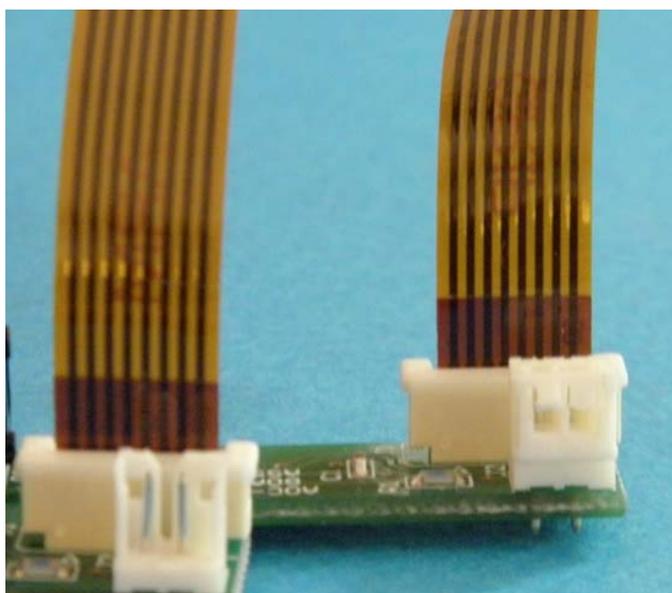
ポスト5G/6G

樹脂  
銅箔

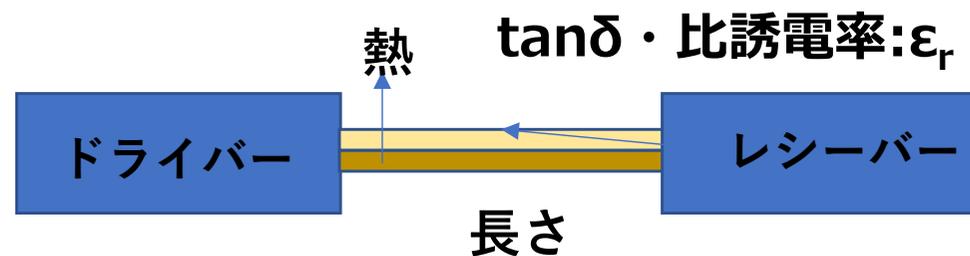
100GHzでは、200nm以下

本年度:難接着性低誘電率樹脂材料(フッ素系・ポリスチレン樹脂等)を用いた部材開発

# 5G/6GではFPCの高周波対応(高速化)が必要不可欠



沖電気HP



- ①部材の誘電損失: $\tan\delta$ の低減
- ②比誘電率: $\epsilon_r$ の低減
- ③配線長さの低減

[フレキシブル基板 \(FPC\) とは | 製品情報 | OKI電線 \(okidensen.co.jp\)](#)

# 光表面化学修飾ナノコーティング技術を用いた 高強度異種材料接合技術

# 光反応を用いた材料・デバイスプロセスの応用展開



# 高強度異種材料接合技術



[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2019/pr20190312\\_2/pr20190312\\_2.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190312_2/pr20190312_2.html)

発表・掲載日：2019/03/12

## 5G用低損失基板に向けた高強度異種材料接合技術を開発

ー簡便な表面改質技術で平滑な銅箔とポリマーをダイレクトに接合ー

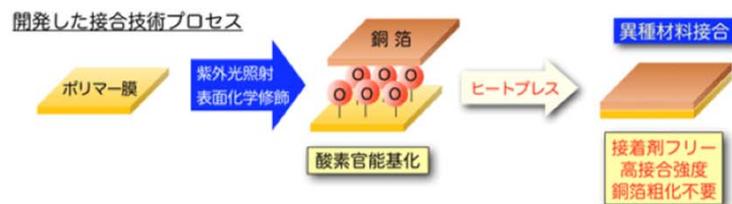
### ポイント

- 紫外光による化学反応を用い、ポリマー表面に酸素官能基を導入する化学修飾技術
- ポリマー材料の化学修飾により銅箔の表面粗化が不要で接着剤フリーの高強度接合を実現
- 高周波特性に優れた第5世代通信（5G）用フレキシブルプリント配線基板の開発を期待

### 概要

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】（以下「産総研」という）**先進コーティング技術研究センター**【研究センター長 明渡 純】光反応コーティング研究チーム 中村 孝子 上級主任研究員、同研究センター 土屋 哲男 副研究センター長は、株式会社 新技術研究所【代表取締役 平井 勤二】（以下「新技術研究所」という）と共同で、高周波用の**フレキシブルプリント配線基板**（FPC）を作製できる高強度な**異種材料接合**技術を開発した。

この技術は**銅箔積層基板**を構成するポリエステル膜の表面を、紫外光反応を用いる**表面化学修飾**技術により酸素官能基化し、ヒートプレスにより銅箔（どうはく）と接合するもので、銅箔の表面を粗くする必要がなく（粗面化が不要）高い接合強度で異種材料を接合できる。今回開発した接合技術による配線基板は、銅箔表面に凹凸が無いので、信号が銅配線の表面層を流れる高周波でも伝送距離の伸長がない。**伝送損失**が少ない優れた特性の**第5世代通信（5G）用**プリント配線基板への応用が期待される。



日刊工業新聞

2019年03月13日

鉄鋼新聞

2019年03月13日

日刊産業新聞

2019年03月13日

電波新聞

2019年03月22日

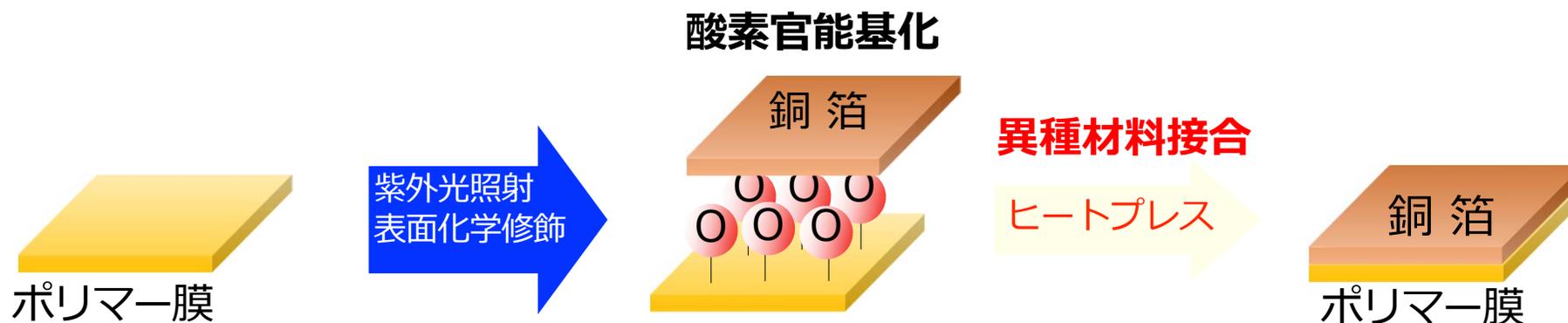
化学工業日報

2019年03月25日

# 光表面化学修飾の開発



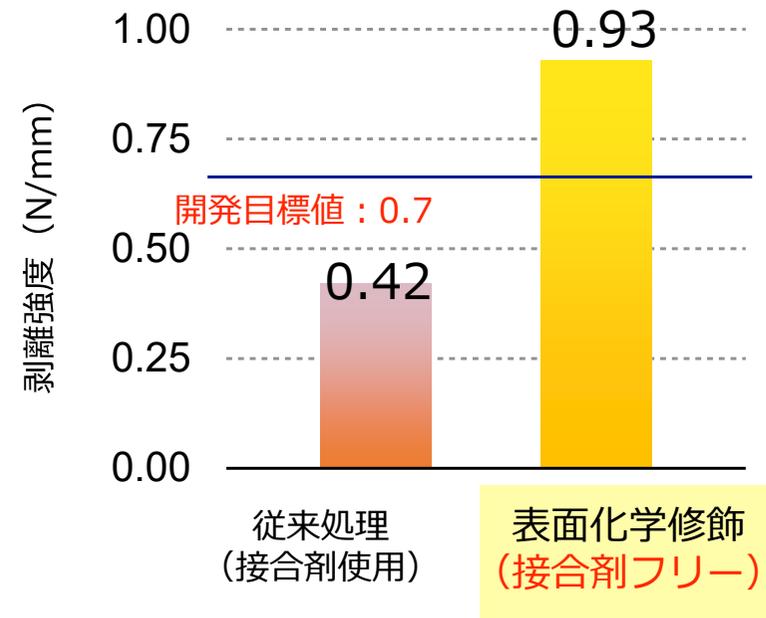
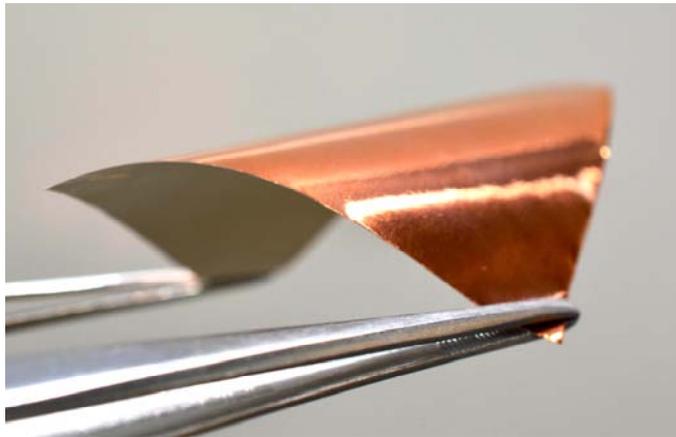
← 高平滑性、接着剤フリー



- ・ 高効率の酸素官能基導入法
- ・ 改質ポリマー膜の保管可能
- ・ 簡便な処理装置
- ・ 少量の酸化剤使用量

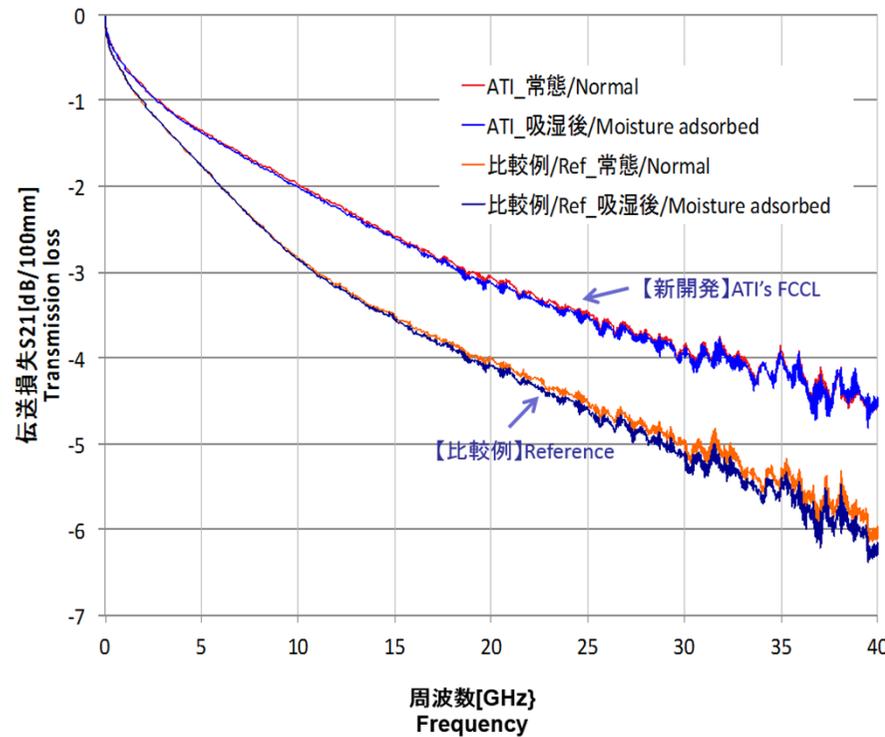
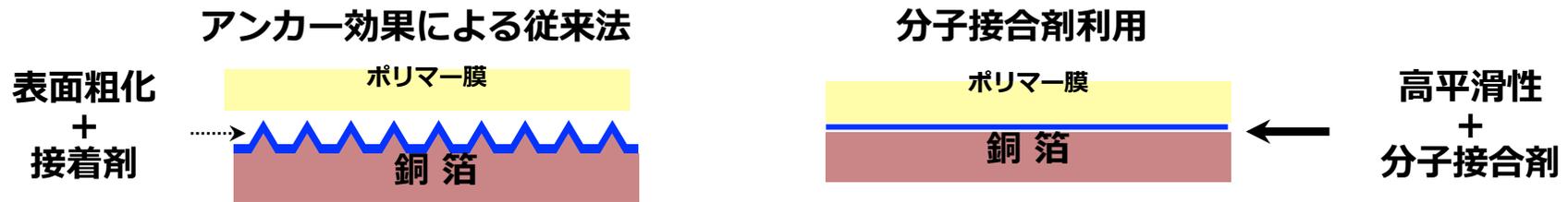
接着剤フリー  
高接合強度  
銅箔粗化不要

# 酸素官能基化ポリマー膜 – 銅箔の異種材料接合



中村拳子, 土屋哲男, エレクトロニクス実装学会誌, 22, 490-494 (2019).

# FPC用異種材料接合技術

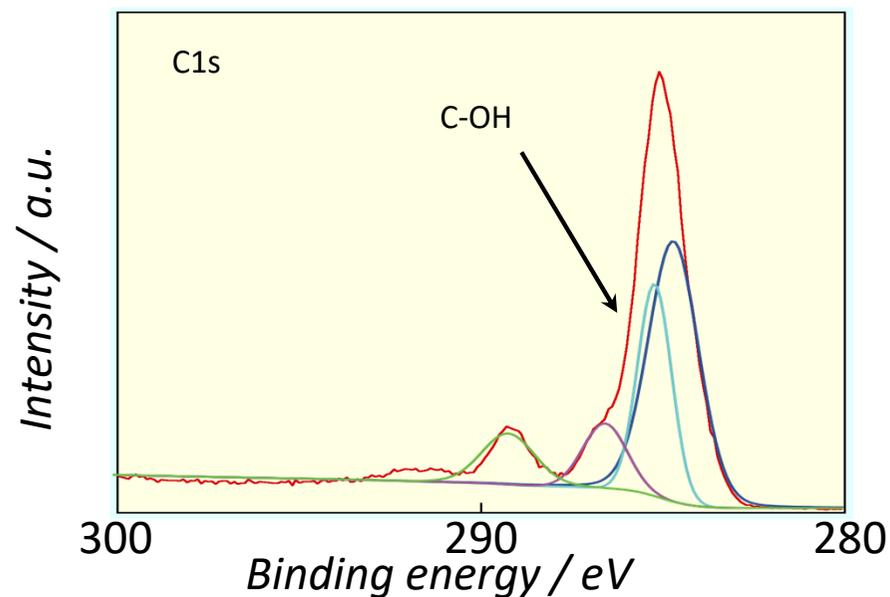
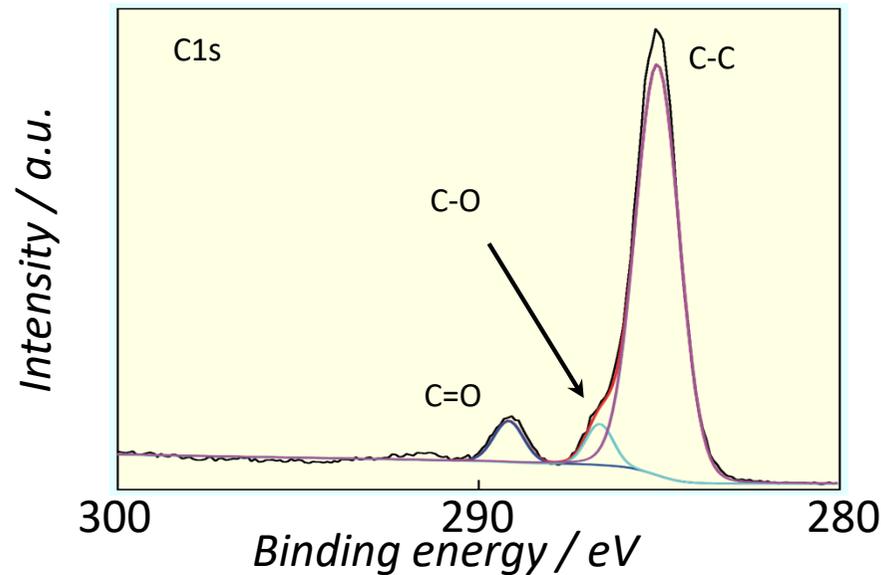
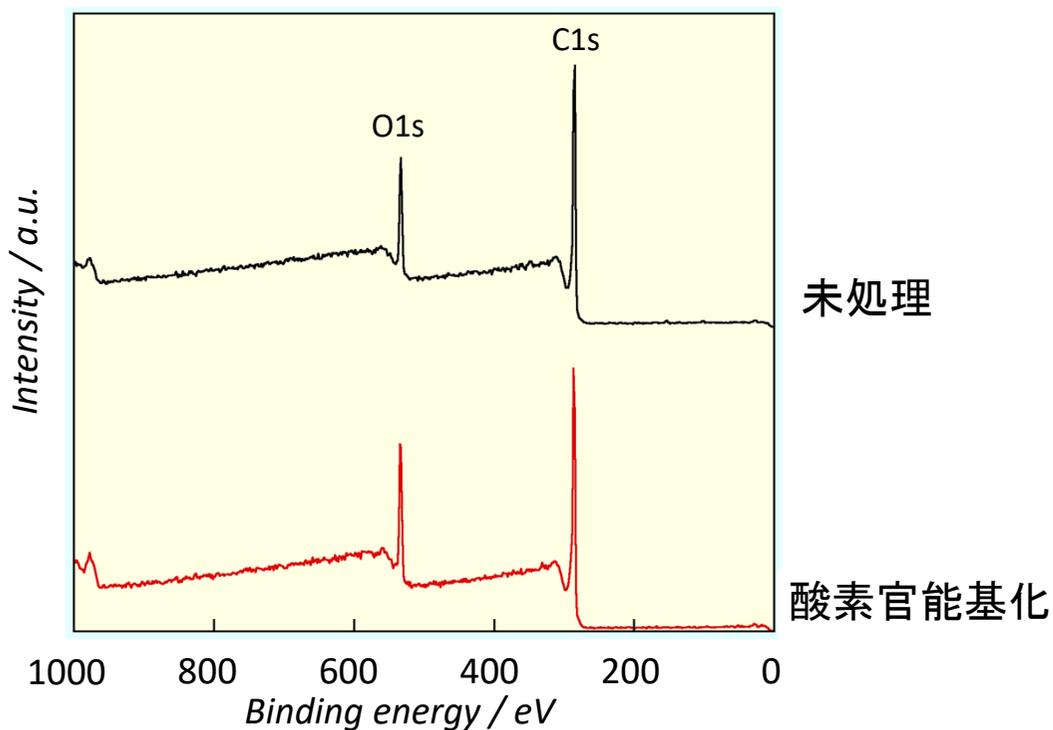


伝送損失抑制

(新技術研究所) データ

<http://www.ati-mt.co.jp/jpage/pg224.html>

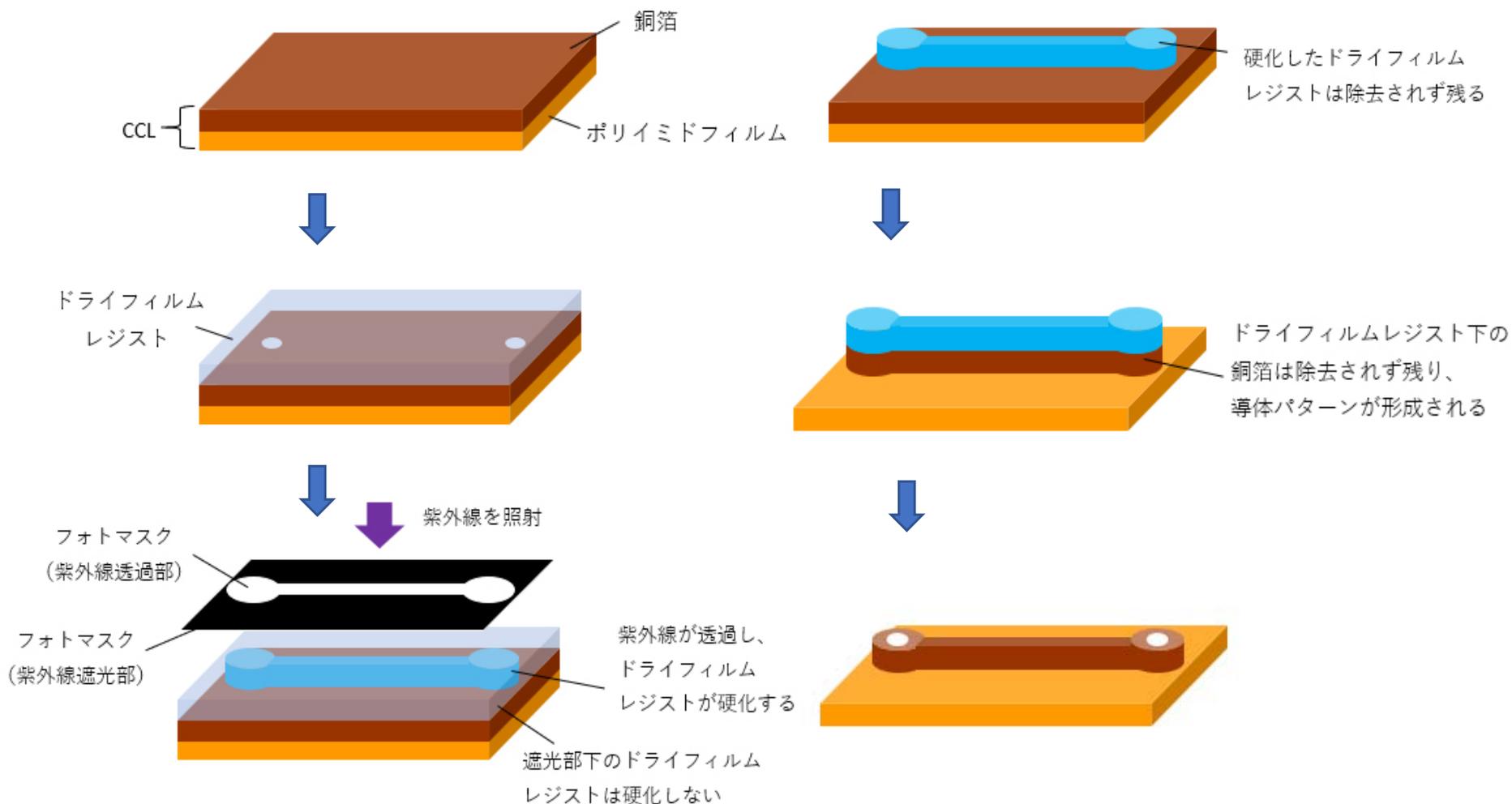
# 光化学修飾によるポリマー膜酸素官能基化



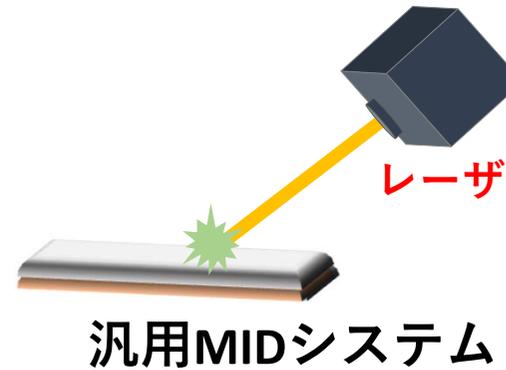
特許第6454858号, 平井勤二, 中村拳子, 土屋哲男  
「ポリエステル系樹脂を含む銅合金物品およびその製造方法」

# 光MOD法によるフレキシブル部材の開発

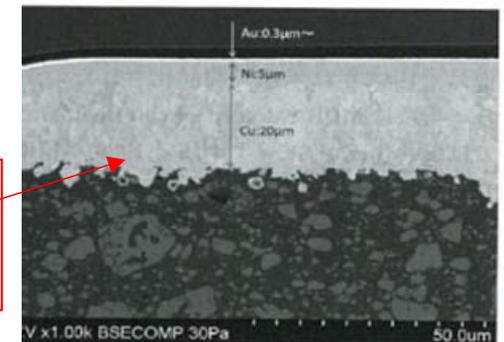
# フレキシブル基板の製造工程



# 5G対応配線技術の開発



従来の課題：樹脂へのめっき  
触媒粗化のため**界面ラフネスが大**

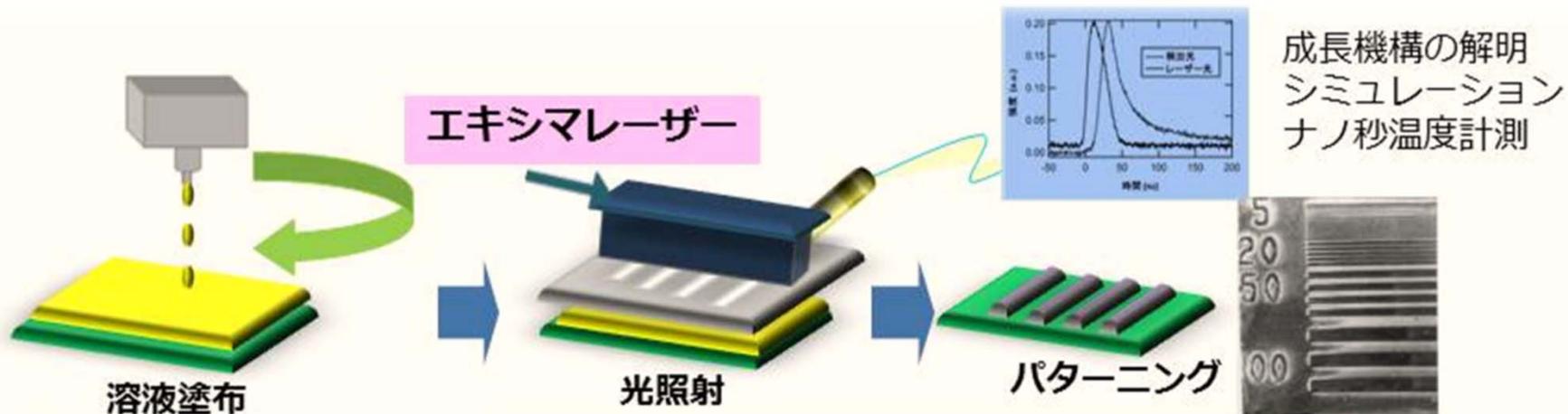


吉澤徳夫 表面技術 71 274 (2020)

日本モレックスHP

[MID/LDSテクノロジー-モレックス \(molex.com\)](https://www.molex.com)

# 光MOD法のプロセスと特徴



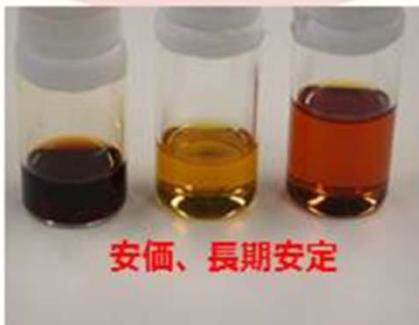
大気中、基板加熱なしに紫外線照射により  
エピタキシャルPZT、 $\text{SnO}_2$ 、LSMO膜の作製に成功！

低温結晶化（多結晶・一軸配向・エピタキシャル成長）

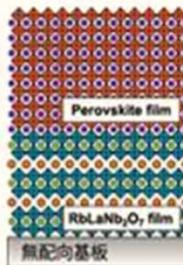
金属有機化合物  
金属アセチルアセトナート  
金属有機酸塩  
ナノ粒子

化学溶液法の特徴

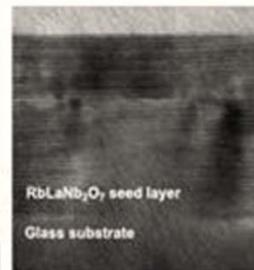
- ・多成分系可能
- ・高真空装置不要
- ・大面積化可能



低温エピ膜！



一軸配向！



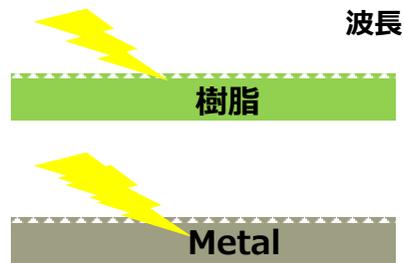
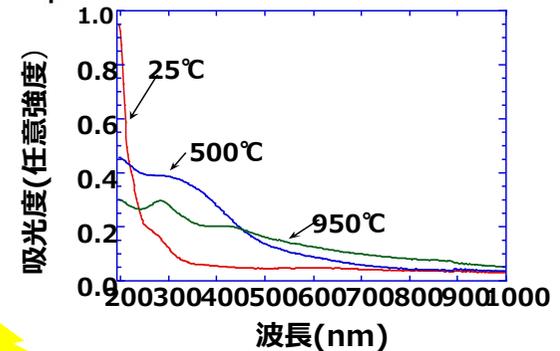
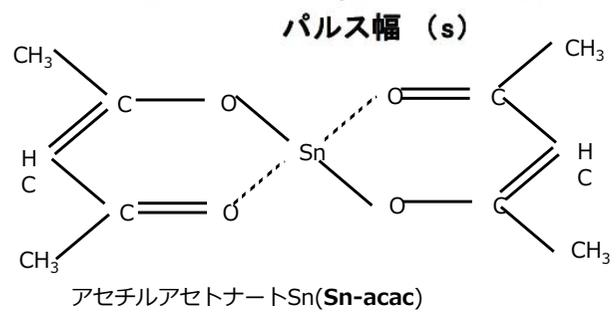
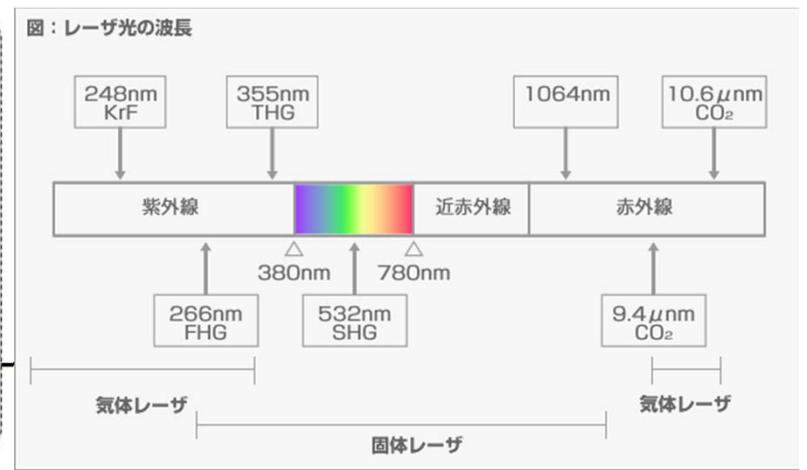
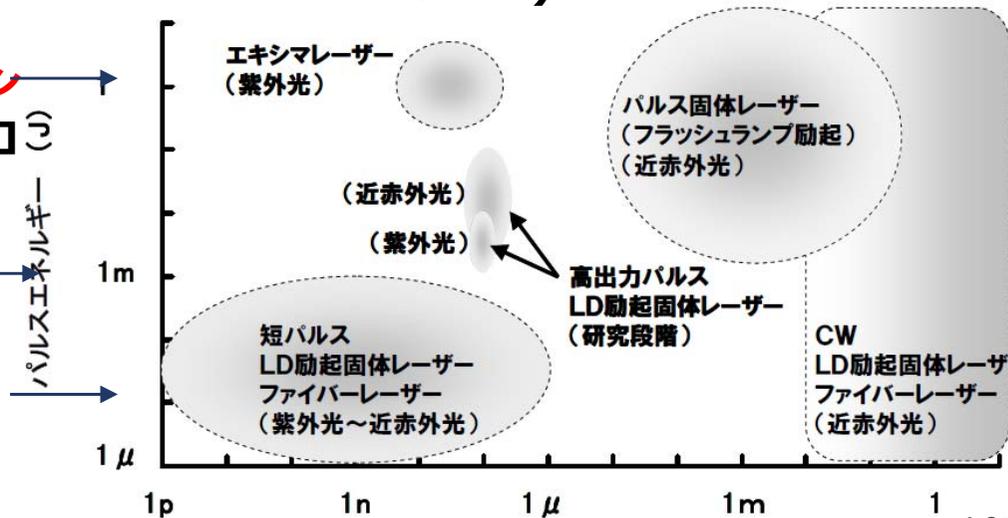
光MODの特徴

1. 低温、
2. 大面積、
3. パターニング、
4. 低コスト、
5. 新材料創生

# 光プロセス：パルスエネルギー、パルス幅、波長

## パルスレーザーデポジション (PLD)

アブレーション  
低温ポリシリコンの結晶化  
レーザーアニール  
光化学反応  
光MOD



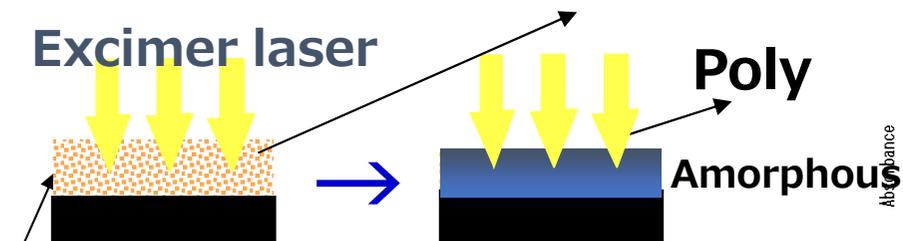
# 多結晶成長とエピタキシャル成長

レーザー光は表面から⇒結晶成長は界面と膜表面から成長

## 多結晶成長

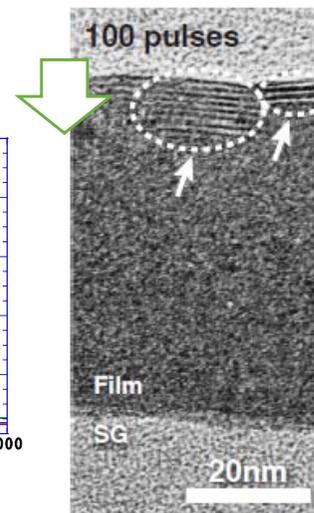
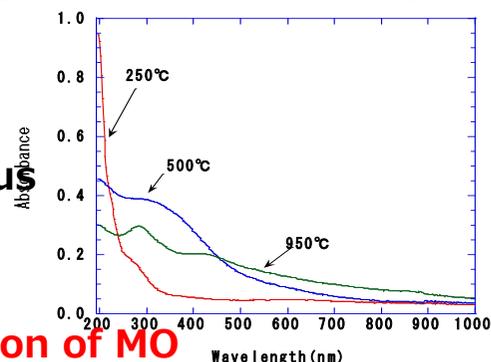
25~250°C :  $\alpha: 1.99 \times 10^4 \text{cm}^{-1}$   
Penetration depth: 50nm (at 193nm)

Excimer laser



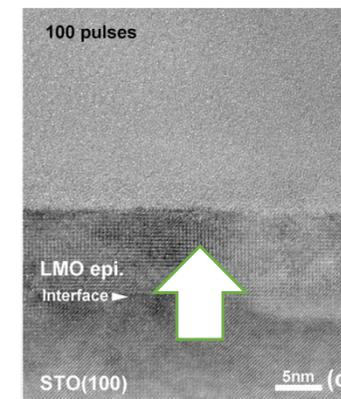
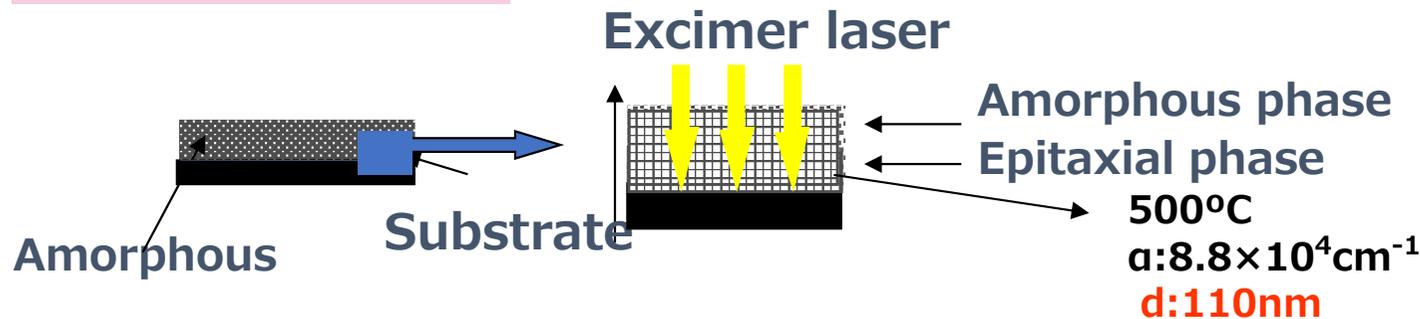
Substrate at 25°C~250°C

Metal organic compound Photochemical reaction of MO



## エピタキシャル成長

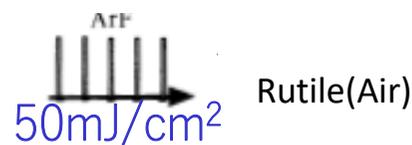
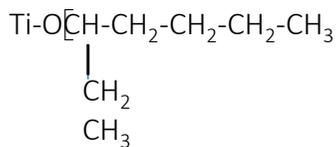
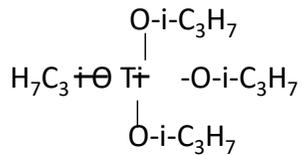
Excimer laser



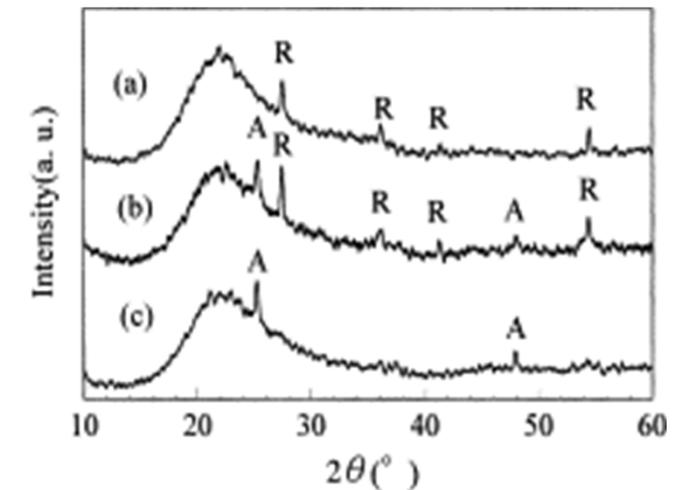
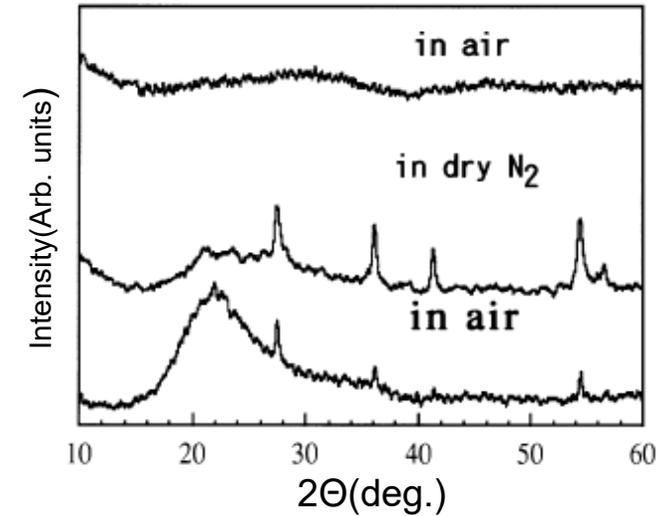
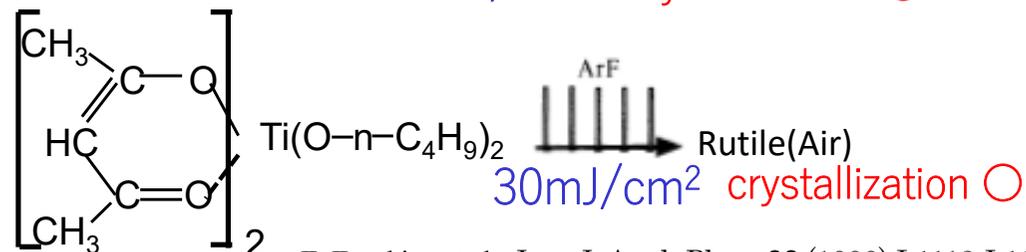
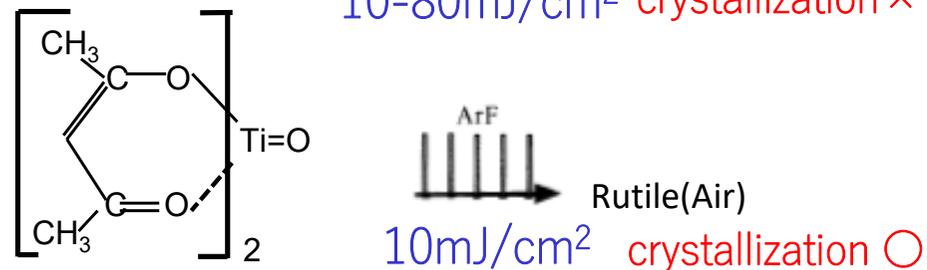
先駆体膜(有機金属膜)の厚み制御が重要⇒レーザー波長にも依存

# TiO<sub>2</sub>結晶膜の低温成長

Sol-gel film ⇒ crystallization ×  
hydrolysis and polymerization



Direct irradiation of metal organic compound



T Tsuchiya, et al. *Appl. Surf. Sci.*, **186** (2002), p. 173.

T. Tsuchiya et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 38 (1999) pp. L 823–L 825

T. Tsuchiya et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** (1999) L1112-L1114.

# 金属酸化物薄膜とその応用



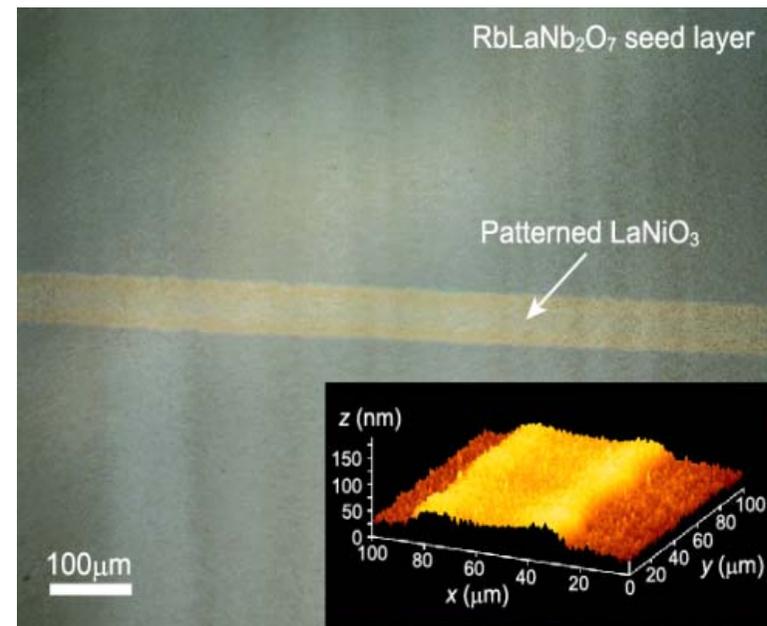
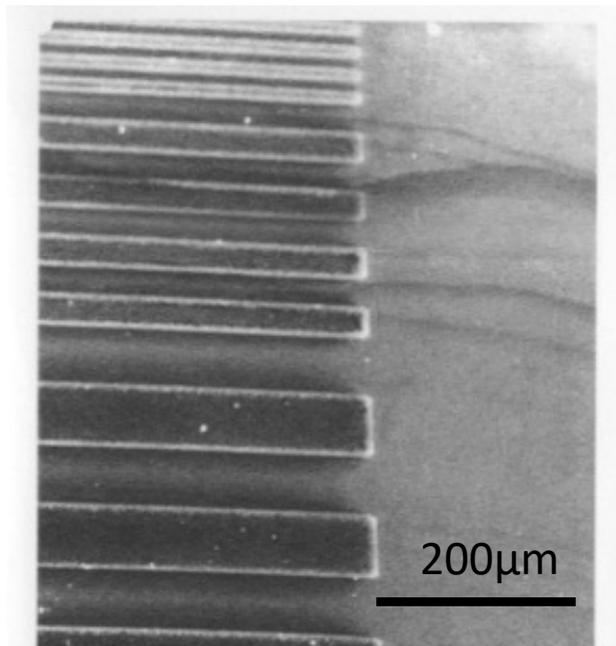
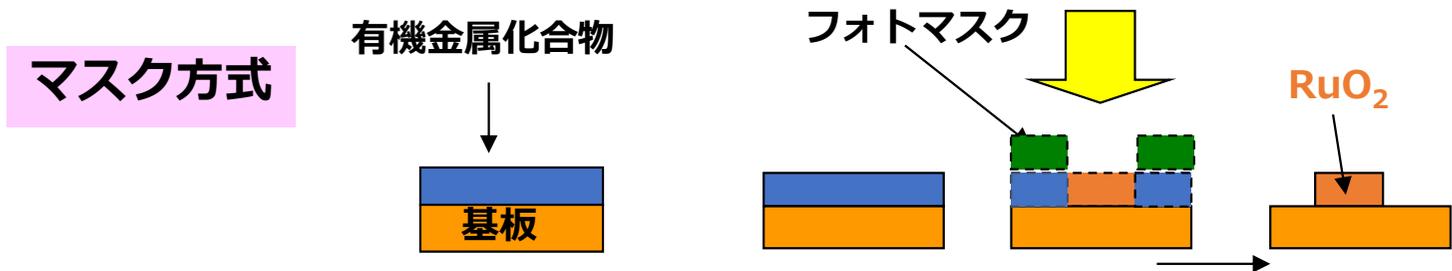
# フレキシブルセラミックスが拓く未来



セラミックス/樹脂・金属界面？ セラミックスの応力で電気・光物性は？

# ダイレクトパターンニング

従来の銅張り付け基板は、フォトリソグラフィで配線のため煩雑、且つ金属利用

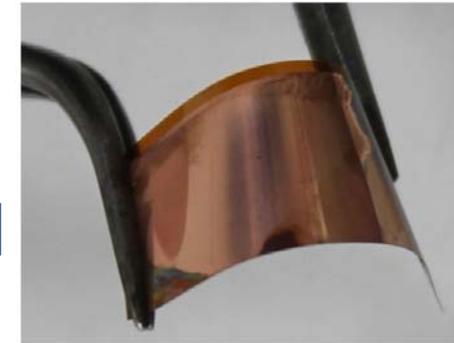
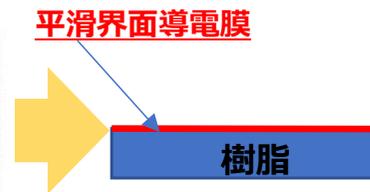
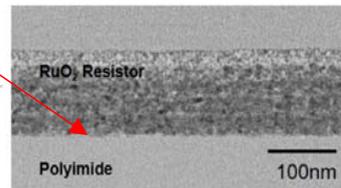
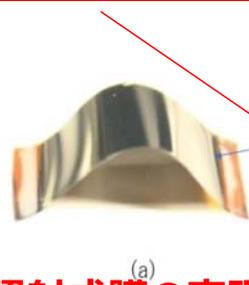
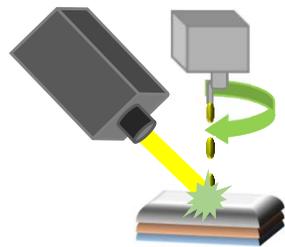


光MOD法によりフォトリソグラフィなしに配線成膜が可能！

# 低誘電率樹脂材料-低粗度銅配線部材の開発

- ・光MOD：ランプ照射による導電薄膜形成技術を開発
- ・樹脂への平滑界面膜→無粗化導体部材の実現
- ・低誘電率樹脂への導電膜実現

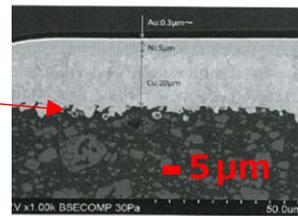
## 光MODで樹脂上に平滑界面ナノ導電膜→銅めっきによる配線技術



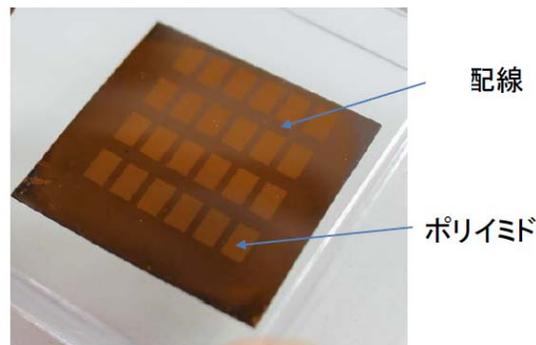
ナノ薄膜/樹脂

従来、紫外レーザー→ランプ照射成膜の実現（低コスト化）

従来の課題：樹脂へのめっき  
触媒粗化のため界面ラフネスが大  
吉澤徳夫 表面技術 71 274 (2020)



## 多様な低誘電率樹脂への成膜



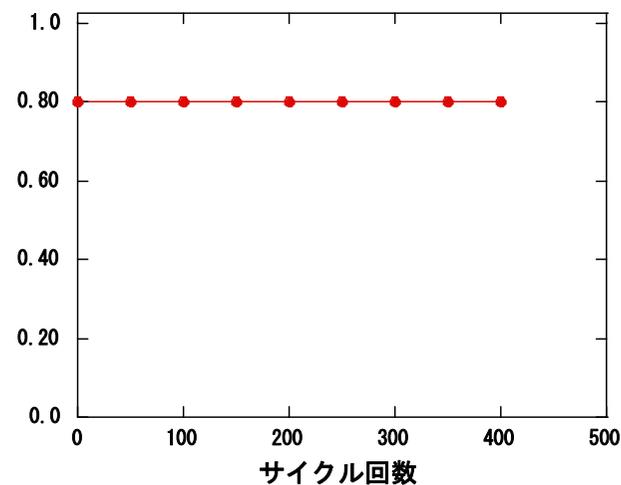
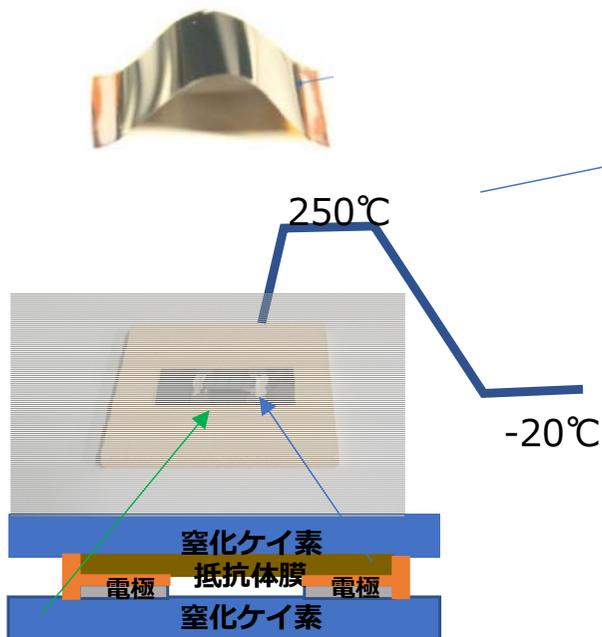
低誘電樹脂へのパターン膜

	光MOD	めっき	銅箔貼付け
プロセス温度	室温	室温	~300℃
ラフネス	数十nm以下	~μm	~500nm
雰囲気	常圧	常圧	真空
パターンプロセス	フォトリソ不要	フォトリソ不要	フォトリソ

光MOD:低誘電率樹脂に表皮深さ以下の凹凸

# 電子部品の信頼性評価

- ・ 温度サイクル試験：400回
- ・ 250℃～-20℃
- ・ 抵抗値変化の測定



温度サイクル試験により抵抗値変化なし

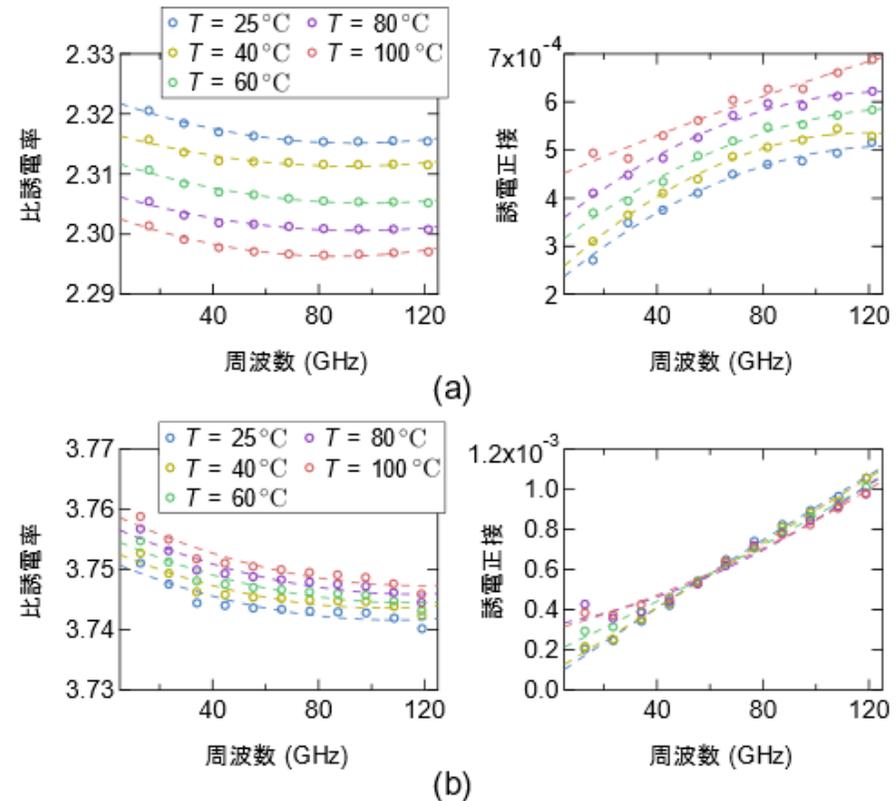
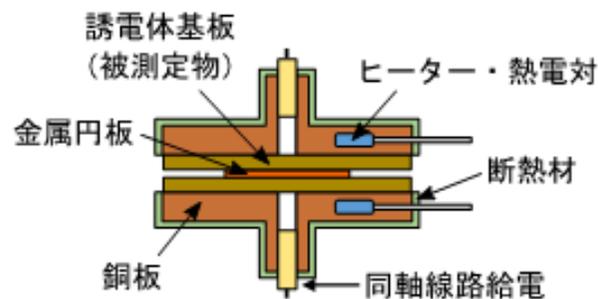
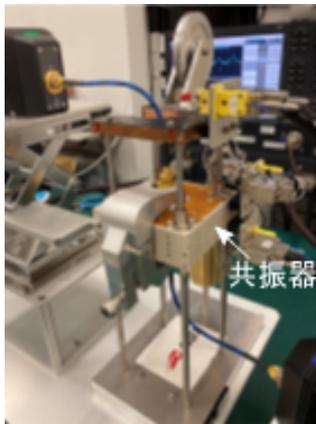
⇒高信頼性接合の実現⇒次世代通信、パワーエレクトロニクス、自動車応用へ

# ポスト5G・6Gの材料開発に向け、誘電体基板の温度特性を計測する技術を確立

—幅広い温度域での低損失化が要求されるミリ波帯材料の開発に貢献—

誘電率と導電率の温度特性を10GHz～100GHz超の超広帯域で計測する技術を確立しました。本技術では、温度制御を可能にした超広帯域動作の共振器を開発することにより、これまで未確立であった、室温から100℃までの温度域での超広帯域のミリ波帯材料計測を実現

産総研 物理計測標準研究部門 担当：加藤



[ポスト5G・6Gの材料開発に向け、誘電体基板の温度特性を計測する技術を確立 | プレスリリース | NEDO](#)

2021年8月31日

NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)  
国立研究開発法人産業技術総合研究所

図 誘電率の温度特性の計測結果例 (a) シクロオレフィンポリマー、(b) 合成石英

# 6G実現に向けたセラミックデバイスの スペックロードマップ策定



研究相談・研究データ・  
研究ユニット紹介  
研究者の方へ

プロジェクト相談・  
研究依頼・各種協業相談  
ビジネスの方へ

産総研ってどんなところ？  
科学の扉を開こう！  
一般の方へ

科学の楽しさ、産総研が  
取り組んだ製品や事例のご紹介  
産総研マガジン

ホーム > ニュース

ニュース

お知らせ 2020/12/07

6G実現に向けたセラミックデバイスのスペックロードマップを策定  
- 10年後の6Gを見据えた素材・製造技術の高度化による産業価値の創造へ -

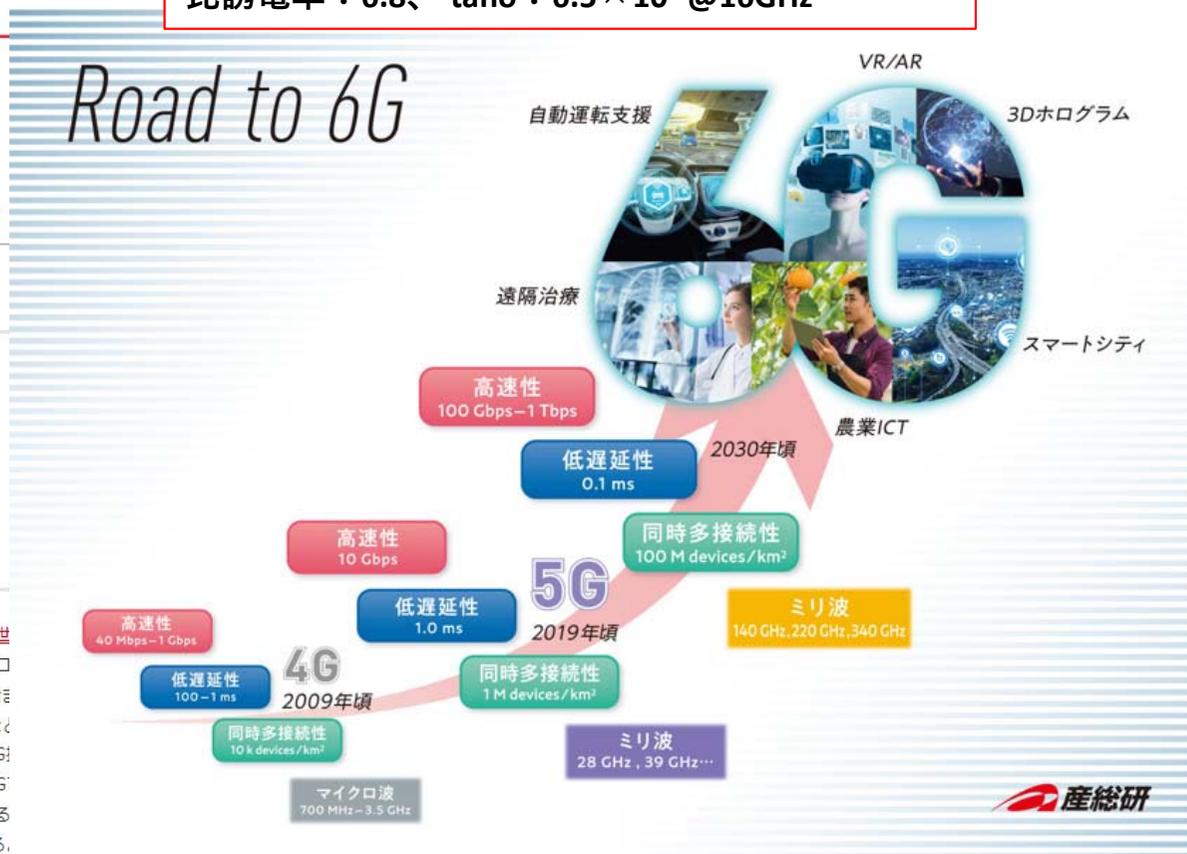
ポイント

- 6G実現のためのセラミックデバイスの必要スペックを確定
- 6G実現のため、その必要スペックに到達するための開発ロードマップを作成
- 本ロードマップ活用による、6Gにおける日本のイニシアティブ発揮への貢献が期待される

概要

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 石村 和彦】（以下「産総研」という）は、第6世 System, 「6G」の実現に必要なセラミックデバイスに必要となる材料スペック達成に向けた口れた第5世代移动通信システム（5G）の後継となる6Gに関しては、すでに世界各国で議論が始まる2030年に向けて熾烈な開発競争が始まっている。例えば通信に使用される電磁波の周波数帯などスペックについてはこれまで議論されてこなかった。本年6月30日に総務省より「Beyond 5G」す社会像や、施策などが報告されているが、具体的な材料スペックへの言及はなされていない。6Gされており、材料に求められる誘電率や導電率などの特性はこれまでにない高い性能が求められる導率が高いという特徴を備えており、6Gデバイス材料の中で重要な役割を担うことが期待される。

LCP→比誘電率：2.91 tanδ：3.5 × 10<sup>-3</sup>@ 10 GHz  
ケイ酸塩系：フォスフェイト：  
比誘電率：6.8、tanδ：6.5 × 10<sup>-5</sup>@16GHz



**本研究開発の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務「ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業」(JPNP20017)の支援を受けて行った。**