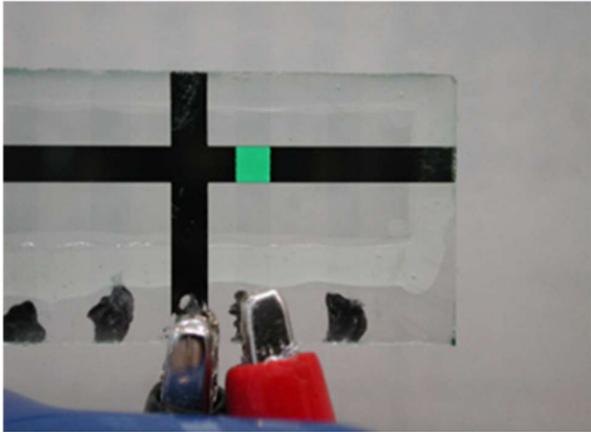


## 有機エレクトロニクス研究室（青木グループ）

### 有機・無機複合化技術を利用した有機材料の高機能化とその応用



試作した有機EL素子の例：金属電極と透明電極に電圧を印加することで、両電極に挟まれた有機EL材料から緑色の発光が起こっています。



ポリジメチルシロキサン（PDMS）系有機・無機ハイブリッド材料透明シートの例：100 $\mu$ m厚で5 kVの電圧を印加しても絶縁を保つことができます。

#### 有機エレクトロニクスとは？

有機エレクトロニクスとは、有機材料を利用したエレクトロニクス技術です。有機エレクトロニクス技術を利用した製品として、レーザープリンタなどに用いられる電子写真感光体や有機EL（エレクトロルミネッセンス）ディスプレイは身近なものとなりましたが、有機材料の特徴を生かした様々な半導体素子（有機トランジスタ、発光素子）、発電素子（有機太陽電池）など研究されてきています。無機半導体材料に比べて、有機材料は、柔軟性、軽量性、低コストでの製造に特長があります。すなわち、軽量・薄型で屈曲可能（フレキシブル）なトランジスタ回路や発光デバイスを実現可能です。また、有機材料はインク化すれば印刷技術により塗布することで堆積できるので、低コストでの素子製造が可能で、素子の大面積化も容易となります。

ウェアラブルデバイスは、ヘルスケア分野などで活用され始めています。時計型携帯端末や衣服型端末などに搭載されたセンサーを通じて装着している人の生体情報を取得し、無線通信を介してクラウド上で解析してフィードバックすることによって、病気が発症・深刻化する前に対処するといった新しい発想に基づき、ネットワークに繋がるヘルス機器の開発が進められています（このようにセンサー機器がインターネットを介して情報を伝達することをIoT（モノのインターネット）と呼びます。）。次世代ウェアラブルデバイスとしては、皮膚に絆創膏のように直接貼り付けても装着感やストレスなく健康状態を24時間モニターし続けることができるセンサ・通信デバイス、すなわち、より柔らかく、生体適合性の高いデバイスが期待されています。しかし、モノに対して電池やAC電源からの電力供給が容易でない場合がほとんどであるため、IoTを実現する場合、素子の低消費電力化をはかるとともに、エナジーハーベスト（環境発電）電源で長期間駆動し続ける技術が重要となります。このようなデバイスを実現するために有機デバイスは有望と考えられています。近年、有機エレクトロニクス分野でも、環境中から熱エネルギー、振動エネルギー、電磁波エネルギーなど微小なエネルギーを採取（ハーベスティング）する技術に関して様々な研究・開発が行われています。

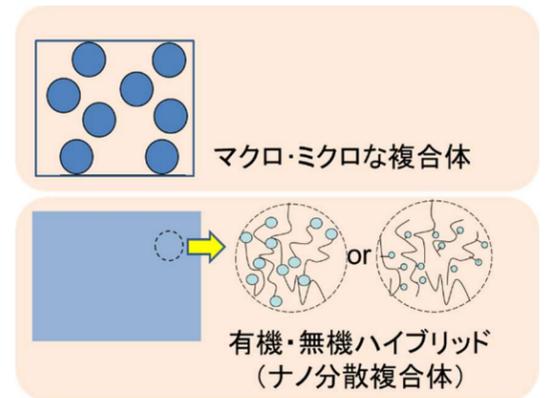


皮膚貼り付け型センサー：東京大学 大学院工学系研究科 染谷研究室WEBページより

### 有機・無機複合化技術とは

金属、セラミックス、半導体材料などの無機材料に対して、有機材料は、誘電材料、絶縁材料として古くから用いられてきました。有機材料が実用上用いられる場合、機械的強度の増強等を目的に無機材料（粉体や繊維）と複合化して用いられることが多くあります。複合化の手法の中でも、母材となる有機分子に対してナノメートルサイズの無機材料（セラミックス、金属）が分散された“分子レベルの複合材料”は、特に有機・無機ハイブリッド材料と呼ばれ、有機材料の耐熱特性、機械的特性（強度、柔軟性）、絶縁特性が大幅に向上することがあります。本研究グループでは、シリコン樹脂の原料として知られる無機ポリマーであるポリジメチルシロキサン（PDMS）を用いた「PDMS系有機・無機ハイブリッド材料」の構造制御による高機能化に関する研究を行っています。PDMS系ハイブリッドの特徴は、以下の通りです。

- ① 高耐熱性をもつ  
200 $^{\circ}$ C $\sim$ 300 $^{\circ}$ C長期保管に耐えることができる。シリコンゴムにおいて問題になる低分子の発生がないことも特長。
- ② 柔軟性もち、応力緩和性に優れる  
非常に柔らかい材料で、応力緩和性に優れます（温度変化などで材料内部に生じるひずみ（変形）に対して抵抗する力を小さくすることができる）。
- ③ 高絶縁性をもつ  
50kV/mm以上の絶縁強度を持つ。
- ④ 無機材料との複合化による機能性付与が可能  
PDMS系ハイブリッドを樹脂成分として、セラミックス（粒子）と複合化することで、絶縁性、放熱性を高めることができます。母材である樹脂に対して、セラミックス成分の割合の高い複合体ほど高機能化が可能となります。樹脂成分が高柔軟性をもつため、複合化しても柔軟性・応力緩和性をもつことができます。  
本研究グループでは、無機材料との複合化により、パワー半導体や高出力LED用の基板作製技術や異種材料の接着技術としての実用化を目指した研究を行いました。最近では、有機・無機複合化技術を利用して、有機エレクトロニクス分野で実現が求められている、高い伸縮性が要求されるウェアラブルデバイス向けの**フレキシブル基板材料**や配線材料の開発および**環境発電**に関する研究を行っています。



有機・無機ハイブリッド材料：ナノメートル（10 $^{-9}$ m）オーダーの無機材料が化学的に有機分子と結合することで、無機粒子が有機材料に均一に分散した複合材料を得ることができます。

#### 本研究グループの取り組み

「有機エレクトロニクス」の新たな実用化の実現のために、新しい物性・機能を持つ有機機能材料の開発がなされる一方、これらの機能材料を活かすためには、新しい視点からの有機絶縁材料開発、絶縁技術も必要とされています。

本研究グループでは、これまで有機・無機複合化技術を利用した有機材料の高機能化と絶縁技術・放熱技術への応用に関する研究に取り組んで来ています。応用例として、基板材料などを提案しています。次ページでは、これまでの研究成果の一部を紹介します。本研究グループでは、このほかにも「高電圧絶縁に関する諸問題の解決に関する研究」、「室温硬化型樹脂用スズフリー硬化剤」など、有機材料に関する研究を幅広く行っています。ご興味のある方は、WEBページをご覧ください。

<http://www.ome.elec.mie-u.ac.jp>

# 電気泳動堆積法による複合膜の構造制御

## 電気泳動堆積法とは

水やアルコールに樹脂、セラミックス粒子を混ぜると、条件次第で、それぞれが帯電状態となり、液中で分散状態（液中でお互いに反発し合って浮いた状態）となります。この液に金属などの導電性基板を入れて電圧を印加すると、帯電した粒子や樹脂は電界の効果で移動し、電極上に堆積されます。この堆積手法は電気泳動堆積法と呼ばれます。この方法は、堆積膜を大面積な基板上に均一に形成できる方法として知られます。本研究グループでは、樹脂とセラミックスを同時に電気泳動堆積することで、樹脂とセラミックスの複合膜の堆積を行っています。堆積条件を工夫することでユニークな構造の複合膜をつくることができます。堆積膜の特徴を生かして、様々な応用を検討しています。



電気泳動堆積法：懸濁液の中の帯電した粒子や樹脂材料は、電界の効果により移動し、電極上へと堆積します。

## 放熱対策が必要とされる理由

電気自動車や電力機器に利用されるパワー半導体や高出力LEDを動作させる場合、従来の素子に比べて非常に高い温度で動作することになります。これにより生じる熱に対する対策をしないと、素子自身が劣化して特性が低下したり、実装部品の熱劣化により、素子の特性を十分に生かした動作をさせることができなくなります。このため、近年、これら分野では放熱対策が非常に重要なテーマになってきています。

## 複合膜の様々な応用

条件を最適化して電気泳動堆積を行うことで、堆積膜は300℃の耐熱性、室温から300℃の温度変化にも耐える応力緩和性、60kV/mm以上の絶縁耐圧、3.0W/mK以上の熱伝導率をもつようになります。これらの特性を利用して、パワー半導体用基板の一つの型である「**メタルコア基板**」への応用を検討しています。熱伝導性が極めて高い金属表面に電気泳動堆積膜により絶縁層を形成することで放熱性、絶縁性に優れた回路基板を作製することができます。また、**異種材料の接合技術**としても利用可能です。表面を高反射化することで**LED照明基板**を作ることができます。さらに堆積条件を調節することで堆積膜の表面構造の制御を行うことで、超撥水表面の形成も可能です。PDMS系ハイブリッドの高耐熱性、絶縁性を生かして、高温環境下で利用できる**超撥水コーティング技術**としての応用を検討しています。



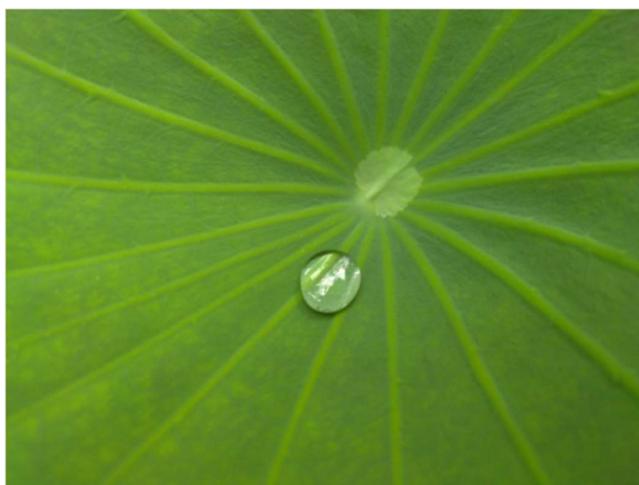
堆積直後の複合膜（樹脂-アルミナ複合膜）：アルミナは白色のため、堆積膜も白く色づいて見えます。

電気泳動堆積膜を利用した様々な応用例

## 自然に倣った超撥水表面の形成技術

一般に「超疎水表面」は、水接触角（CA）が150°を超え、接触角ヒステリシス（CAH）が10°を下回る固体表面と定義されます。このような超撥水表面は、撥水材料の表面に凹凸構造を形成することで得られます。自然界に存在する超撥水表面の例として、ハスの葉が知られていますが、ハスの葉は、マイクロおよびナノスケールの異なるスケールの凹凸構造が組み合わさった「階層状凹凸構造」を持っています。PDMS系ハイブリッド材料自体が撥水性材料ですので、堆積膜の表面構造を電気泳動堆積法を利用して制御して、膜表面に階層状凹凸構造を形成することで超撥水表面の形成が可能となります。

ハスの葉の上の水滴（津市高田本山専修寺にて撮影）：ハスの葉はすぐれた超撥水表面を持っています。



## 連絡先

〒514-8507  
 三重県 津市 栗真町屋町 1577  
 三重大学工学部 総合工学科  
 電気電子工学コース  
 電子物性工学講座  
 有機エレクトロニクス研究室  
 准教授 青木裕介  
 TEL・FAX: 059-231-9405  
 e-mail : yaoki@elec.mie-u.ac.jp