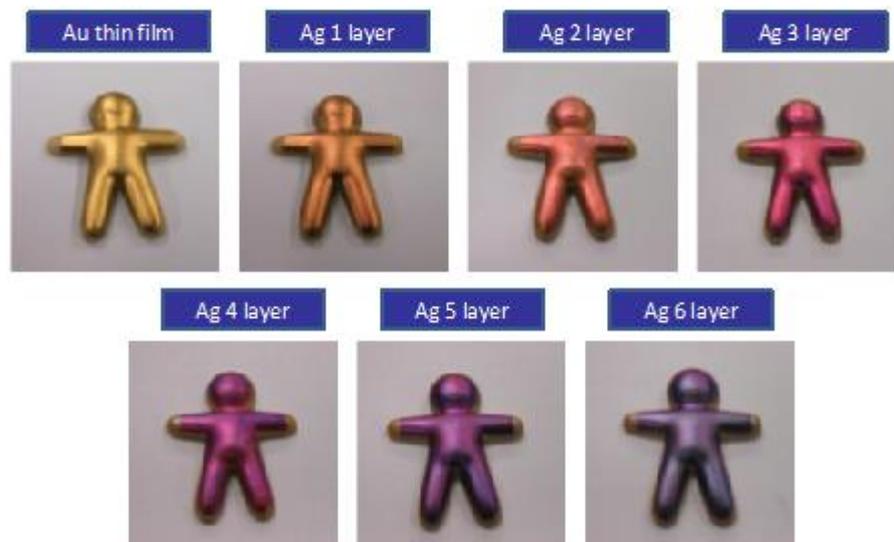




金属微粒子によるフルカラーナノコーティングの実現

概要

先導物質化学研究所 玉田薫教授は、透明淡黄色の銀ナノ微粒子二次元結晶シートを金基板上に積層すると、積層数に応じてオレンジー赤ーピンクー紫ー青の鮮やかな呈色が得られるという新しい光学現象を発見しました。これは金属基板と金属微粒子シートのプラズモン(※注1)相互作用によって生じるもので、この手法を使えば、曲率のある基板も容易に美しくフルカラーナノコーティングすることができます。材質が貴金属なので、安定性・安全性ともに従来の有機色素に比べて優れています。加えて、プラズモン構造を活かした高感度バイオセンシングや高効率光電子デバイスへの適用も期待されています。



曲率のある材料でも均一にコーティング可能。5nmの微粒子層でメタリックフルカラーが得られる。(特許出願済み)

背景

金属表面の呈色技術として、従来は有機色素によるコーティングが行われてきましたが、色調を変えるためには、色素の種類を多様に変えることが必要でした。また光・熱などに対する安定性や毒性なども考慮する必要がありました。玉田教授は、これに代わる金属光沢カラーコーティング法として、金属ナノ微粒子二次元結晶シートによる新手法を考案しました。この方法によれば、同一の銀微粒子シート(透明淡黄色)の積層数を1ー5層と変えるだけで、金属光沢を保ったままオレンジー赤ーピンクー紫ー青と鮮やかに金属光沢色を変えることができます。

内容

近年玉田教授の研究室では、粒径の揃った銀ナノ微粒子を水面上で自己組織化(※注2)により二次元結晶化させる技術を確認しました。厚み5ナノメートルのこのシートは、疎水性表面であれば材質を選ばず転写でき、積層も可能です。研究の過程で、本来ガラス上では透明淡黄色の銀微粒子シートが、金基板上では積層数に応じて鮮やかに呈色するという不思議な現象を発見しました。

その後の研究で、この呈色は金基板・銀ナノ微粒子に限ったものではなく、他の金属基板・金属ナノ微粒子の組み合わせにおいても、色調は異なるものの同様に生じる現象であることを確認しました。電磁場解析シミュレーション(FDTD法)(※注3)による検討の結果、金属基板上金属微粒子二次元結晶シー

トに光を入射した時、微粒子シート面内及び層間のプラズモン相互作用と金属界面でのナノ光学現象が同時に発現し、その結果このような不思議な色の変化となることを理論的に解明できました。これは過去に報告例のあるプラズモン散乱光による呈色や微小光共振器構造による呈色とは全く異なる原理によるものです（*）。また、開発した金属微粒子二次元結晶シートは、色調が美しいだけでなく、特定の波長の光を界面に強く閉じ込める性質を持っています。

（*）これまでの例では、より大きな金属構造体（～100 ナノメートル）が必要とされ、我々のような5ナノメートルの微粒子シート1層ごとに大きく色調が変化するという現象は生じません。

■効果

本手法では、下地の金属基板や金属微粒子の種類・サイズ・混合積層構造を選択することによって、色調を無限に変えることができます。またこれらの色は物理色のため長期的に安定します。材料が貴金属なので毒性が低いというメリットもあります。貴金属は高価とはいえ、厚み数ナノメートルでの使用のため、材料原価を低く抑えることができます。

金属微粒子シートの呈色は散乱に由来するものではないので非常に鮮やかで、物理色であるのにほとんど視野角依存性がありません（これもまた金属微粒子二次元結晶シートの持つ特徴です）。車のボディから、携帯電話、インテリアなど、さまざまな応用の可能性があると思われれます。

■今後の展開

金属ナノ微粒子によるプラズモン研究は、先端デバイスの分野で現在大きく注目を集めています。金属ナノ微粒子に吸収された光はナノ界面にエネルギーとして蓄えられ、様々な光反応に応用可能であることがその理由です。たとえば高感度バイオセンシング法として診断医療の分野に貢献すること（ライフ・イノベーション）や、太陽電池などの光電子デバイスの高効率化を通じて低エネルギー・低環境負荷社会に貢献すること（グリーン・イノベーション）が世界的に期待されています。

現在、玉田教授らは蛍光増強シートとして先端医療計測の分野に貢献する目的でさらなる研究開発を進めています（*）。

（*）最先端・次世代研究開発支援プログラム（NEXT プログラム）

「プラズモニック結晶ナノアンテナ構造による革新的ナノバイオ計測」（平成22年～25年）

研究代表者：玉田薫（九州大学）

【用語解説】

（※注1）プラズモン（表面プラズモン共鳴）

金属表面にある条件下で光を入射した時、金属表面の自由電子の振動電場と光とが共鳴し、光のエネルギーが金属表面に移動する現象が生じる。これを表面プラズモン共鳴と呼ぶ。金属をナノサイズにすると、この現象が可視光領域で生じるため、金属ナノ微粒子は強く可視光を吸収する。複数の金属ナノ微粒子がナノメートルの距離まで近づくと、さらに強いプラズモン共鳴電場が微粒子間に励起されることが知られている。我々の金属ナノ微粒子二次元結晶シートは、二次元面内にナノ微粒子が高密度に集積した特有の構造を持つため、均一で非常に強いプラズモン電場をシート内に励起できる。この特徴のため、今回報告の不思議な呈色が発現した。

（※注2）自己組織化

原子、分子あるいは粒子間に働く相互作用により、物質間に自発的に秩序的構造が形成される様子。銀ナノ微粒子の場合、キャッピング分子であるミスチン酸分子間の疎水性相互作用により、水面への展開時、ナノ微粒子は自発的にヘキサゴナル二次元結晶構造を形成する。

（※注3）FDTD法

電磁場解析法の一つ。Finite-Difference Time-Domain Methodの略称。Maxwell方程式を時間と空間について差分法で解くことで、プラズモン相互作用など時空間的に広がる電磁場現象を理解するのに用いられる。

【お問い合わせ】

先導物質化学研究所 教授 玉田 薫

電話：092-642-2727

FAX：092-642-2768

Mail：tamada@ms.ifoc.kyushu-u.ac.jp