



拡大反射・縮小反射・散乱鏡を自在に切り替える鏡の作製に成功！ ～プリントライクな光学計測デバイス製造技術の実現へ向けて～

本学大学院システム情報科学研究院（興雄司教授・吉岡宏晃助教・中窪奎喬大学院生）、工学研究院応用化学部門（石松亮一助教）、ノースカロライナ州立大学(Michael D. Dickey 教授他)の国際共同研究チームは、光学・電気化学・分析化学の分野を跨ぐ融合研究として、液体金属の表面を、反射状態と散乱状態の間で動的に切り替える方法を開発しました。液体金属は、金属としての電気的、熱的、光学的特性と、液体ゆへの流動性を併せ持っているため、光学素子として応用を考える研究はこれまでも行われてきました。チームは新しいアプローチとして、電気による酸化・還元反応を光学面の自己形成の観点で再評価した結果、光学部品の製造に一般的に必要なとされる光学的コーティングや研磨の工程を必要とせず、切り替え可能な反射面・散乱面を動的に形成することに成功しました。

この成果で、自由な凹面・凸面に加え散乱面も即座に形成できるミラーを将来的には実現できます。また、そのミラーはマイクロ構造でもウイルスや汚染物質検出のためのポータブルな光分析チップに応用できるでしょう。長期的には、このような自己形成技術は、通常研磨が必要とされる光のシステムを、いわゆる 3D プリンターの様な自動製造手法で作製することができるような簡易製造装置の重要な技術になることが期待されます。

本研究成果は、2021 年 6 月 14 日(月)公開のアメリカ光学学会 (OSA, Optical Society of America) の Optical Materials Express 誌に当学会の公式ニュースリリースとともに掲載されました。

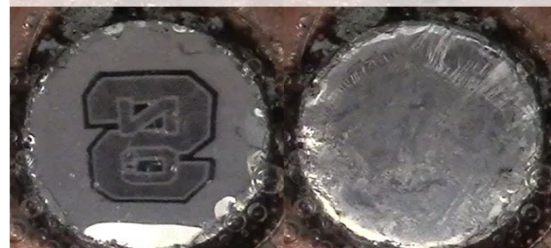
研究者からひとこと：

実験中に偶然発見された一見「失敗」に見える結果を、光学的に意味があるものとして評価しようとした斬新な発想と、それを引き起こす条件・起きている現象の電気化学的な検証、電気回路的な検証、光化学的な検証を国際チームで協力することで研究成果とする事ができました。

「海外武者修行」を実施いただいた分子システムデバイス国際リーダー教育センターにも、謝意を表します。

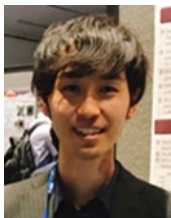


九州大学の校章



ノースカロライナ州立大学の校章

(参考) 液体金属表面を電極とし電圧を印加した時、液体金属表面が酸化され散乱状態になります(左上と右下)。そして、逆方向に電圧をかけると還元反応により液体金属表面が反射面を一瞬で復元し、鏡のように像を映します(右上と左下)。



中窪
大学院生



吉岡 助教



興 教授

【お問い合わせ】 大学院システム情報科学研究院 教授 興 雄司

TEL:092-802-3742 FAX:092-802-3731

Mail: oki@ed.kyushu-u.ac.jp

<研究の背景と経緯>

シリコーンゴム的一种であるポリジメチルシロキサン(PDMS)の液体状態における表面張力を利用し、レンズなどの滑らかな光学面¹⁾を非研磨に作製するアプローチがあります。安価な材料で研磨装置も要らず容易に高精度な滑らかさをもつ球面を作ることができるため、これまで多くの研究グループがこの分野の研究を行ってきました。

一方で私たちの研究室では、液体金属の液体としての性質を利用して光学面を非研磨に作製する研究を行ってきました。PDMSなどの有機材料と比較して、液体金属の表面張力は大きいため、より口径の大きい光学曲面を作製することができます。また、円筒状の容器内に液体金属を注射器等で一度容器の底から注入した後吸引すると、円筒内壁と液体金属の濡れの関係から液体表面の形状が凸状の曲率から平面を経て凹状の曲率へ連続的に変化することを報告しました。この方法で作製した液体金属の光学面を転写することでPDMS単体では作製できなかった大きな(口径7mmまで)の球面が作製できます。しかし、液体金属には空気中の酸素と容易に反応し、一旦酸化膜ができてしまうとこれが皺になり滑らかな光学面を損なって、しかも制御できないという問題がありました。

<研究の内容>

本研究では、ガリウムインジウム合金液体金属の表面を電解質で囲み、電圧制御と上記の注入・吸引を組みあわせることにより凹面反射・凸面反射・平面反射と散乱状態を動的に切り替える方法を開発しました。まず、埋め込み型の小さな流路を用いてリザーバーを作製しました。(図1の(a))次に、電圧をかけながら、液体金属をリザーバーに注入・吸引することで、任意の曲率の球面を形成しました。(図1の(b))このプロセスでは、表面は常に還元されることで、曲率の異なる凸面、平面、凹面切替時にも光学面が安定して形成されます。さらに、電圧の向きを変えると、液体金属表面を強制的に酸化され、表面部の膨張が無数の小さな傷を作る結果、光を散乱させる面に切替わります(図1の(c))。電圧を再び反転すると、液体金属の表面張力によって傷は消え、表面は再びきれいな反射鏡の状態に戻ります。(図1の(d))

さらに研究では、表面の電気的特性を電気化学測定によって測定して、散乱面と反射面の切り替わりの条件と比較しました。その結果、酸化膜の形成と散乱面の形成の条件がわずかにずれていることも明らかにしました。

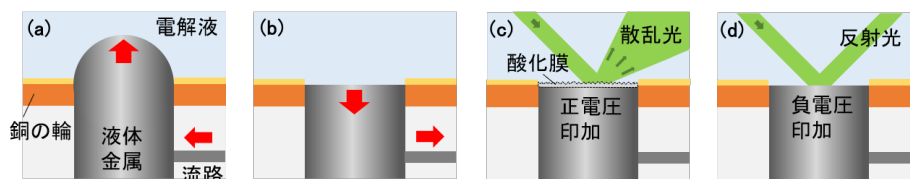


図1 液体金属の散乱・反射光学面の動的制御プロセス(a) リザーバーに液体金属を注入し凸面を形成 (b)吸引により液面を平面にする (c)正電圧(+1V程度)を印加すると酸化反応により酸化膜の粗い散乱面が形成される (d)負電圧(-1V程度)を印加すると還元反応により酸化膜が除去され滑らかな反射面になる

<今後の展開>

今回得られた成果の一つに、ある条件下では表面をわずかに酸化させた状態でも滑らかな反射面を維持できることが挙げられます。その状態を制御することでさらに多様な光学面を作ることができ、生化学チップなどの高度なデバイスへの応用や、3Dプリント光学素子の製造への応用が期待できます。今後は、こうした知見を活かしてより多様な光学面の作製を行っていきます。

<用語解説>

注1) 光学面…レンズやミラー、フィルターの表面のように細かい領域で1/1000mm以下レベルの凹凸がない、滑らかな表面。球面状で滑らかにすることでレンズなどが構成できます。

注2) 表面張力…大きな張力により、より大きな半径の球面が形成できます。

注3) ガリウムインジウム合金液体金属…共晶GaInと呼ばれる、室温で安定的に存在する液体金属でGa:In=75.5:24.5。融点は15.7度。

<論文情報>

題目 : Dynamic control of reflective/diffusive optical surfaces on EGaIn liquid metal
(ガリウムインジウム合金液体金属における反射/散乱光学面の動的制御)

著者 : Keisuke Nakakubo, Hiroaki Yoshioka, Kinichi Morita, Ryoichi Ishimatsu, Abolfazl Kiani,
Hans Hallen, Michael D. Dickey, and Yuji Oki
(中窪 奎喬, 吉岡 宏晃, 森田 金市, 石松 亮一, Abolfazl Kiani, Hans Hallen, Michael
D. Dickey, 興 雄司)

雑誌名 : Optical Materials Express (OSA Publishing)

D O I : <https://doi.org/10.1364/OME.425432>