

一般セッション(ポスター講演) | 3 光・フォトンクス：3.1 光学基礎・光学新領域

2024年9月18日(水) 9:30 ~ 11:30 皿 P01 (展示ホールA)

[18a-P01-1~13] 3.1 光学基礎・光学新領域

[18a-P01-1]

単一周波数・波長可変ナノ秒パルスレーザーを用いたオプトガルバノ分光

○(M2)小瀬村 輝¹、山田 恭滉¹、大饗 千彰^{1,2}、桂川 眞幸^{1,2} (1.電通大基盤理工、2.電通大量子センター)

[18a-P01-2]

希ガス原子気体を媒質とする非線形光学過程の基礎物理

○(M1)洗 佳慧¹、豊永 大貴¹、吉野 健斗¹、大饗 千彰^{1,2}、桂川 眞幸^{1,2} (1.電通大・基盤理工、2.電通大・量子センター)

[18a-P01-3]

誘電体球を用いた電子顕微鏡内レーザー照射時のWGMスペクトルマッピング

○安達 良和¹、Izzah Machfuudzoh¹、杉本 泰²、藤井 稔²、三宮 工¹ (1.東工大、2.神戸大)

[18a-P01-4]

偏光と強度を同時制御した新たな高次光子の探索

○田子 千裕¹、松元 俊基¹、角江 崇¹、森田 健¹ (1.千葉大)

[18a-P01-5]

空間光変調器による高次光子生成とその伝搬距離依存性

○(M1)細谷 知広¹、杉 直樹¹、角江 崇¹、森田 健¹ (1.千葉大)

[18a-P01-6]

ストライプ型space-time表面プラズモンのスピン角運動量

○(M1)元井 慧¹、菊池 陽々紀¹、伊知地 直樹²、久保 敦¹ (1.筑波大物理、2.東大生産研)

[18a-P01-7]

光と電場を用いたCdSe/ZnS半導体量子ドットの運動操作法の開発

○橋本 卓¹、右馬 健太郎¹、稲葉 勇人¹、守安 毅¹、熊倉 光孝¹ (1.福井大工)

◆ 英語発表

[18a-P01-8]

Optical Trapping Induced Surface Deformation At Protein Solution

○(M1)Chia-Hong Su¹、Po-Wei Yi¹、Chih-Hao Huang¹、Mu-En Li¹、Hiroshi Masuhara¹ (1.Nat'l Yang Ming Chiao Tung Univ.,Taiwan)

[18a-P01-9]

液体ドロップレット中に形成したアゾ微粒子の光書換構造の評価

○(M2)藤本 悠佑¹、井上 達貴¹、村松 正吾¹、新保 一成¹、大平 泰生¹ (1.新潟大自然研)

[18a-P01-10]

3D プリントフレクシャ機構とマイクロビーズを利用した低コスト超解像顕微鏡の作製

○辻 諒比路¹、松井 龍之介¹ (1.三重大院工)

[18a-P01-11]

パルス電子線を用いたカソードルミネセンスによる発光寿命測定

○稲目 航大¹、柳本 宗達¹、安達 良和¹、三宮 工¹ (1.東工大)

[18a-P01-12]

体積偏光ホログラフィ用フォトポリマーの検討

○石岡 滉大¹、茨田 大輔² (1.宇大光工学、2.宇大CORE)

[18a-P01-13]

相変化浮遊電極を用いた誘導電荷電気浸透流による液中マイクロ粒子の収束および分離

○江藤 翔太¹、斎木 敏治¹、大久保 寧雄¹、畑山 祥吾²、牧野 孝太郎²、齊藤 雄太³ (1.慶大理工、2.産総研、3.東北大学)

単一周波数・波長可変ナノ秒パルスレーザーを用いたオプトガルバノ分光 Optogalvanic spectroscopy using a single-frequency, wavelength-tunable nanosecond pulsed laser

電通大. 基盤理工¹, 電通大. 量子センター² (M2) ○小瀬村 輝¹, 山田恭滉¹, 大饗千彰^{1,2},
桂川真幸^{1,2}

Dep.of Eng.Sci.¹, IAS², Univ. of Electro-Comms, ○Hikaru Kosemura¹, Yasuaki Yamada¹,
Chiaki Ohae^{1,2}, Masayuki Katsuragawa^{1,2}

E-mail: kosemura@mklab.es.uec.ac.jp

1. 研究の目的

原子・イオンを対象とした精密レーザー分光を高感度に行う手法として、オプトガルバノ分光法が知られている。こうした精密なレーザー分光を行う際には、単一周波数・波長可変 CW レーザー光が用いられる。しかし、このような CW レーザー光を実現できない波長域も多く存在する。こうした波長域で精密分光を行う手段としては、周波数純度の良いナノ秒パルスレーザーを分光用光源として用いる方法が考えられる。そこで本研究では、単一周波数・波長可変ナノ秒パルスレーザーを用いたオプトガルバノ分光を行い、ナノ秒パルスレーザーによる精密分光が CW レーザーを用いた場合と比べてどの程度の精度を達成できるかを定量的に評価する。

2. 実験装置の概略

本研究では分光測定を試料として、Co 原子が封入されたオプトガルバノセルを使用する。オプトガルバノセルに 200V 程度の電圧を印加すると、セルの電極間にターゲット原子のプラズマが発生する。本研究では電極間に発生した一価の Co イオンの $3p^63d^74s^2$ 準位から $3p^63d^7(4F)4s4p(^3P^o)$ 準位への遷移 (遷移周波数: 390.9927 nm) をターゲットとした分光測定を行う。本研究で使用する実験装置の概略図を Fig. 1. に示す。まず単一周波数・波

長可変 782 nm ECDL と 532 nm ND:YAG ナノ秒パルスレーザーを Bow-tie 型共振器に導入し、注入同期を行うことで、782 nm ナノ秒パルスレーザーを発生させる。この 782 nm ナノ秒パルスレーザーは波長可変、パルス幅が約 10 ns、スペクトル幅がフーリエ変換限界 (~30MHz) という特徴を持つ。その後、第二高調波発生(SHG)により波長 782 nm から 391 nm へと波長変換し、オプトガルバノセルに入射させる。セル中に分布する Co イオンが光を吸収する際にオプトガルバノセルのインピーダンスが変化し、オプトガルバノ信号が得られる。分光測定を行う際には、セル入射レーザー光の波長を Co イオンの共鳴波長付近で掃引しながら、オプトガルバノ信号の強度が変化する様子を測定する。また、セル透過光強度をフォトディテクターで測定することで、波長掃引に伴いセル内部にレーザー光の吸収量が変化する様子を直接測定する。当日は、単一周波数・波長可変ナノ秒パルスレーザーを用いた精密分光の結果に関する定量的評価について詳細に報告する。

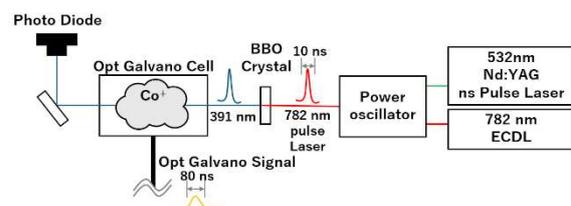


Fig. 1. Experimental setup.

希ガス原子気体を媒質とする非線形光学過程の基礎物理

Fundamental physics in a nonlinear optical process with rare gas atom

電通大・基盤理工¹, 電通大・量子センター²

(M1)〇洗 佳慧¹, 豊永大貴¹, 吉野健斗¹, 大饗千彰^{1,2}, 桂川眞幸^{1,2}

Dep. of Engineering Science¹, Inst. for Advanced Science²; Univ. of Electro-Communications
Yoshie Sen¹, Taiki Toyonaga¹, Kento Yoshino¹, Chiaki Ohae^{1,2}, and Masayuki Katsuragawa^{1,2}

Email: sen@mklab.es.uec.ac.jp

希ガスは常温で安定に存在する原子気体で、シャープな共鳴構造をもち、基本的な非線形光学過程を研究する対象として良い舞台を提供してくれる。ただし、電子励起状態の最低エネルギーがすでに真空紫外域に入り、短波長のレーザー光源が必要となるので、他の対象物質と比べると基礎的な物理過程でも明確に把握されていない部分が多々残されている。ここでは、四波混合過程を基本スキームに据えて、この非線形光学過程に関与する主だった緩和過程とその非線形光学過程との関連について研究を進めた。

希ガスを媒質とする四波混合過程は、特に2000年より以前にそれなりのボリュームをもって研究がなされたが、当時のレーザー技術は、時間・空間的なコヒーレンスがまだ不十分で、得られた結果が果たして本質的な限界を与え

るものかどうか未だ明確とは言い難い。ここでは、現代的なレーザー技術として、注入同期・単一周波数・波長可変ナノ秒パルスレーザーを導入する。このレーザーシステムでは単一の縦・横モードが実現される。スペクトル幅は、常にパルス時間幅のフーリエ変換限界をとり、たとえば100 nsのナノ秒ロングパルスがもつスペクトル幅はわずか3 MHzとなる。単一周波数CWレーザーに引けをとらないスペクトル純度が得られる。一方、ピークパワーはMWに到達し、孤立系を対象とする、特に短波長域における非線形光学過程の研究に優れた環境を提供してくれる。

Fig. 1は、上述のレーザーを含む立ち上げた実験システムの概要である。当日はこの実験システムの詳細とこれまでに得られた結果について報告したい。

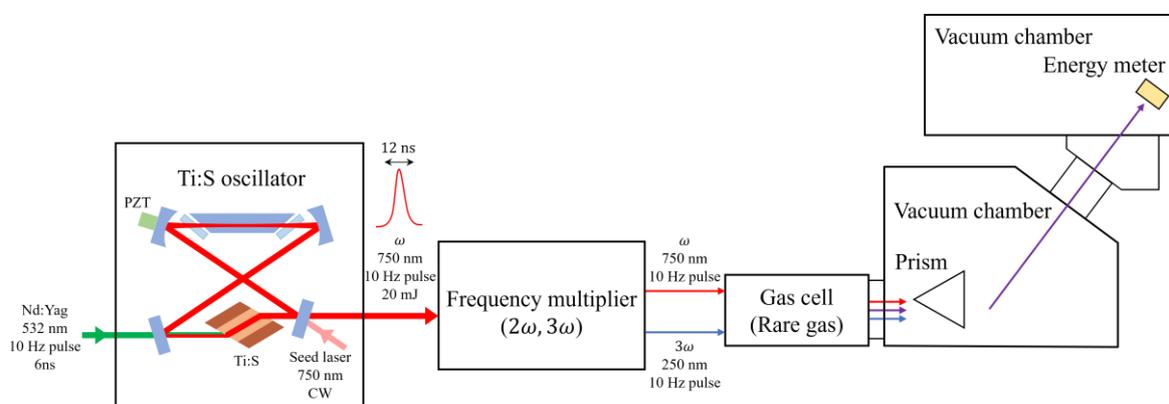


Fig. 1. Experimental system

誘電体球を用いた電子顕微鏡内レーザー照射時の WGM スペクトルマッピング

WGM spectral mapping of a dielectric sphere under laser irradiation in an electron microscope

東工大¹, 神戸大² ○(D3) 安達良和¹, Izzah Machfuudzoh¹, 杉本泰², 藤井稔², 三宮工¹

Tokyo Tech.¹, Kobe Univ.² ○(D3) Yoshikazu Adachi¹, Izzah Machfuudzoh¹,

Hiroshi Sugimoto², Minoru Fujii², Takumi Sannomiya¹

E-mail: adachi.y.al@m.titech.ac.jp

1.背景

球状または円形の共振器に閉じ込められた光は、Whispering gallery mode (WGM) と呼ばれる。ここでは、内部全反射によって、誘導された光が共振器の周囲に沿って循環し、共振条件は経路長が波長の整数倍に等しい場合に満たされる。共振ピーク波長は温度によってシフトすることが知られており(式(1))[1]、この関係性を利用することで、光学測定により温度測定が可能である[2]。

$$\Delta\lambda = \lambda \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dT} + \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} \right) \cdot \Delta T \quad \text{式(1)}$$

ここで、 n は屈折率、 T は温度、 R は共振器の半径である。

我々はこれまでに、電子顕微鏡内において WGM[3] を使った Si 球の温度計測は行っているが、Si 球内部における温度分布の詳細は分かっていない。ここでは、スペクトルマッピングによって Si 球の局所空間情報を得ることを試みた。

2.実験方法

走査型透過電子顕微鏡 (STEM) 内にレーザーを入射し、電子線とレーザー光をサンプルの同位置に同時に照射する測定系を使用した (Fig.1)。CL 計測には、試料からの発光を放物面鏡を用いて電子顕微鏡から取り出し検出するが、その逆パスでレーザー光をサンプルに照射する[4]。

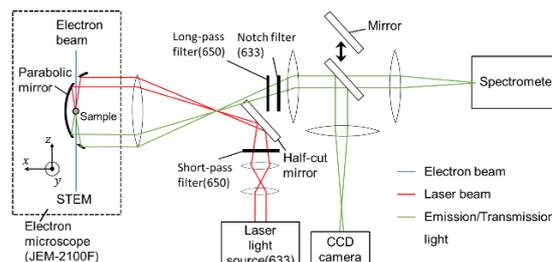


Fig. 1 Experimental setup for simultaneous irradiation of electron beams and laser beams.

3.結果

大きさ 400nm の Si 球の WGM スペクトルピークのマッピングを行った。レーザー光の強度を $0\mu\text{W}$ から $40\mu\text{W}$ に上げると、Si 粒子の左下でレッドシフトが顕著に起きた (Fig.2)。これは粒子の左下の位置にレーザー光が照射され、それによって生じた WGM モードの違いが表れていることが示唆される。

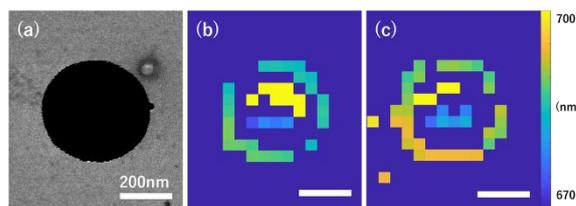


Fig.2 (a) Si particles with the diameter of 400 nm. (b) WGM spectrum peak mapping without laser irradiation. (c) WGM spectrum peak mapping under $40\mu\text{W}$ laser irradiation.

[1] Dong, C.-H. et al., Appl. Phys. Lett. 2009, 94, 231119.

[2] Yu, J. et al., Sensors 2018, 18(8), 2515.

[3] I. Machfuudzoh et al., ACS Photonics, 2023, 10, 5, 1434-1445.

[4] Y. Adachi et al., Ultramicroscopy, 2023, 251, 113759.

偏光と強度を同時制御した新たな高次光子の探索

Exploration of new higher-order photons with
simultaneously controlled polarization and intensity

千葉大院理工, [○](M1) 田子 千裕, 松元 俊基, 角江 崇, 森田 健

Chiba Univ., [○]Chihiro Tago, Toshiki Matsumoto, Takashi Kakue, and Ken Morita

E-mail: morita@chiba-u.jp

光には、波長、偏光、モードといった内部自由度が存在する。その中でもスピン角運動量 (SAM) を持つ偏光は量子情報通信で広く用いられている。近年、光渦や軸対称ベクトルビームといった軌道角運動量 (OAM) をもつ新たな光が注目されており、その偏光状態は高次ポアンカレ球と呼ばれる球上の状態ベクトルで表される^[1]。高次ポアンカレ球は、SAM ポアンカレ球上の右円偏光 $|R\rangle$ と左円偏光 $|L\rangle$ に OAM ポアンカレ球上の $\exp(-il\phi) \equiv |l\rangle$ と $\exp(il\phi) \equiv |-l\rangle$ を掛けた新たな直交基底 (例えば $|R\rangle|l\rangle$ と $|L\rangle|-l\rangle$) で構成される拡張型のポアンカレ球である (図 1)。結果として、図 2a に示すような一様な偏光の空間分布を持つ光を表現できる。近年では、SAM ポアンカレ球の $|R\rangle$ と $|L\rangle$ の重ね合わせの直交基底に OAM ポアンカレ球上の $|l\rangle$ と $|-l\rangle$ を掛けた新たな直交基底で構成される新たな高次ポアンカレ球も構築されている。結果として図 2b のような偏光が一様でない空間分布を持つ光も表現できるようになった^[2]。しかし、SAM ポアンカレ球の $|R\rangle$ と $|L\rangle$ の重ね合わせの直交基底に OAM ポアンカレ球上の $|l\rangle$ と $|-l\rangle$ の重ね合わせの直交基底を掛けた、より一般的な直交基底で構成される高次ポアンカレ球上の空間構造を持つ偏光状態について調べられては来なかった。

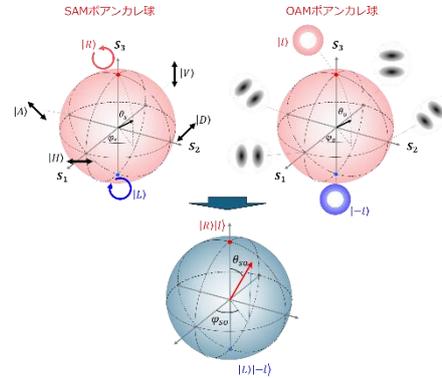


図 1 : 高次ポアンカレ球

本研究では、SAM ポアンカレ球の直交基底 ($|\lambda^{s+}\rangle$ と $|\lambda^{s-}\rangle$) と OAM ポアンカレ球の直交基底 ($|\lambda^{o+}\rangle$ と $|\lambda^{o-}\rangle$) の直積状態をとったものを新たに拡張した直交基底として定義し直すことで、新たな高次ポアンカレ球を構築した。新たな直交基底によって表現した北極と南極を計算し、それらの状態の重ね合わせによって、高次ポアンカレ球上の点の偏光状態を計算した。一つの例として、SAM ポアンカレ球の直交基底と OAM ポアンカレ球の直交基底の直積状態をとった新たな直交基底 ($|\lambda^{s+}\rangle|\lambda^{o+}\rangle$ と $|\lambda^{s-}\rangle|\lambda^{o-}\rangle$) で構築した高次ポアンカレ球上の点による偏光の空間分布を表したものを図 2c に示す。結果として、偏光と強度が方位角に依存する新しい高次光子を表現できるようになった。SAM と OAM がもつれた光同士を重ねることで、偏光と強度を制御した新しい高次光子を見出すことができることを意味する。

[1] G.Milione, et al., Phys.Rev.Lett.107,053601(2011)

[2] S. Sato et al., arXiv:2301.08024

	SAMポアンカレ球の 直交基底	OAMポアンカレ球の 直交基底	高次ポアンカレ球の 直交基底	
a	$ R\rangle$ $ L\rangle$	$ l\rangle$ $ -l\rangle$	$ R\rangle l\rangle$ or $ R\rangle -l\rangle$ $ L\rangle -l\rangle$ or $ L\rangle l\rangle$	
b	$ \lambda^{s+}\rangle = \alpha R\rangle + \beta L\rangle$ $ \lambda^{s-}\rangle = \alpha' R\rangle + \beta' L\rangle$	$ l\rangle$ $ -l\rangle$	$ \lambda^{s+}\rangle l\rangle$ or $ \lambda^{s+}\rangle -l\rangle$ $ \lambda^{s-}\rangle -l\rangle$ or $ \lambda^{s-}\rangle l\rangle$	
c	$ \lambda^{s+}\rangle = \alpha R\rangle + \beta L\rangle$ $ \lambda^{s-}\rangle = \alpha' R\rangle + \beta' L\rangle$	$ \lambda^{o+}\rangle = \alpha l\rangle + \beta -l\rangle$ $ \lambda^{o-}\rangle = \alpha' l\rangle + \beta' -l\rangle$	$ \lambda^{s+}\rangle \lambda^{o+}\rangle$ or $ \lambda^{s+}\rangle \lambda^{o-}\rangle$ $ \lambda^{s-}\rangle \lambda^{o-}\rangle$ or $ \lambda^{s-}\rangle \lambda^{o+}\rangle$	

図 2 : 高次光子を構成する直交基底と空間構造を持つ偏光分布

空間光変調器による高次光子生成とその伝搬距離依存性

Generation of high-order photon states by spatial light modulator and its propagation distance dependence

千葉大院理工, ^{○(M1)} 細谷 知広、杉 直樹、角江 崇、森田 健

Chiba Univ., [○]Hosoya Tomohiro, Sugi Naoki, Takashi Kakue, Ken Morita

E-mail: morita@chiba-u.jp

ガウス光はスピン角運動量 (SAM) のみを持ち、軌道角運動量 (OAM) はゼロの状態である。一方、高次光子は SAM と OAM の両方を持ち、特に OAM は任意整数を持つこと許されるため、多くの情報を詰め込むことができる光子として注目されている。高次光子は、空間光変調器 (SLM) を用いて生成できる。良質な高次光子を生成するためには SLM 直後のビームの伝搬メカニズムを明らかにする必要がある。本研究では、ガウスビームを SLM で変調させ、その後の伝搬ビームの強度分布について検証する。

実験では、波長 532 nm、ビーム半径 1 mm のレーザービームを焦点距離 75 mm のレンズで集光した。良質なガウスビームを生成するため、ピンホールによって高周波成分を除去した。その後ガウスビームを SLM で変調させ、高次光子生成を行った。生成した高次光子が伝搬する様子を CCD カメラで記録した (Fig. 1)。記録した高次光子の空間強度分布の距離 (z) 依存性を Fig. 2 に示す。(a) が光学系において CCD で撮影された高次光子、(b) はその断面強度分布を示す。また(c)と(d)は同様の条件のシミュレーション結果である。実験結果とシミュレーション結果はおおよそ一致しており、高次光子が伝搬するにしたがって、円環状の強度分布が大きくなるとともに、高周波成分が消えていることがわかる。シミュレーションは、フレネル回折による伝搬を仮定している。近距離では表現できないので 90 cm からの結果である。本結果は、SLM での LG ビーム生成は、伝搬距離が長い方が理想的なビームに近づくことが分かった。

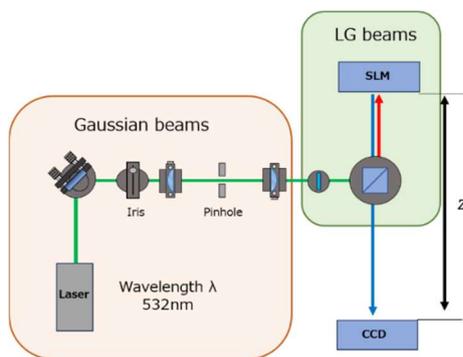


Fig. 1: SLM を用いた高次光子生成のための光学系。

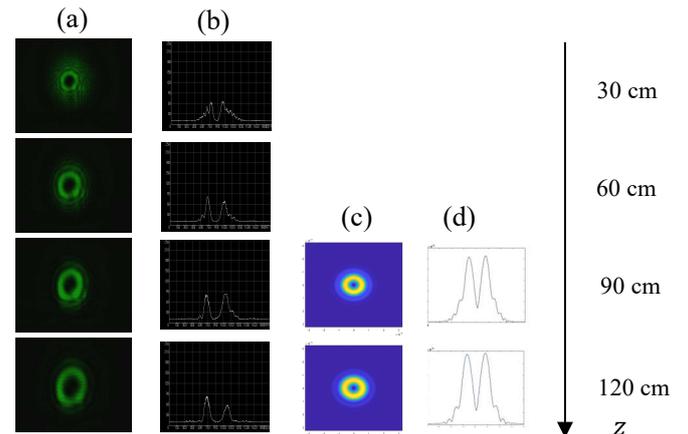


Fig. 2: SLM で生成した高次光子 (a) 空間強度分布 (実験) (b) 断面強度分布 (実験) (c) 空間強度分布 (シミュレーション) (d) 断面強度分布 (シミュレーション)

[1] L. Allen, M. W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuw, and J. P. Woerdman, Phys. Rev. A **45**, 8185 (1992)

[2] 宮本 洋子, 和田 篤, 「ラゲール・ガウスビームの発生と検出」, 光学, **Vol.35**, No.12, 618-624 (2006)

ストライプ型 space-time 表面プラズモンのスピン角運動量

Spin angular momentum of striped space-time surface plasmon polariton

筑波大物理¹, 東大生産研², [○](M1)元井 慧¹, 菊池 陽々紀¹, 伊知地 直樹², 久保 敦¹

Univ. of Tsukuba¹, The Univ. of Tokyo², [○]Kei Motoi¹, Hibiki Kikuchi¹, Naoki Ichiji², Atsushi Kubo¹

E-mail: s2420200@u.tsukuba.ac.jp, kubo.atsushi.ka@u.tsukuba.ac.jp

表面プラズモンポラリトン(SPP)はエネルギー流密度の渦度($\nabla \times \mathbf{P}$)に比例する横スピン角運動量(t -SAM)を有し、面内の強度分布が平面波状で一様な場合、 t -SAMは伝搬方向に直交する面内成分のみをもつ[1,2]。一方、SPPが空間的に構造化された場合、面内のエネルギー流密度の勾配に起因する t -SAMの面直成分が発現する[2,3]。横方向に一定の周期で強度が変調されたストライプ型 space-time SPP(ST-SPP)は非回折伝搬特性を持つSPP波の一つであり、時間空間的に局在化したエネルギー分布を有する[4]。本研究では、フェムト秒ストライプ型 ST-SPPの t -SAMについて、各ベクトル成分の空間分布、および、ストライプ間隔との関係を数値的に解析した。

ST-SPPのストライプ間隔 λ_x は、空間光変調器を用いた励起光合成装置によって制御される(Fig. 1) [4]。光源は波長800 nmの10 fsレーザーである。Fig. 2は、 $\lambda_x = 15 \mu\text{m}$ のストライプ型 ST-SPPにおけるエネルギー流密度($\mathbf{P} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}^*$)、および、 t -SAM($\mathbf{S} = \text{Im}[\mathbf{E}^* \times \mathbf{E}]$)の各成分の空間分布である。波束状のST-SPPは $z = 0$ の平面に生成され、

y 軸の正の方向に伝搬する。このとき、 t -SAMは面内横成分(S_x)が最も大きく、エネルギー流密度で最も主要な伝搬軸成分(P_y)と同じ位置に分布する。 S_x の生成には P_y による寄与が大部分を占める。他方、面直スピン S_z は、 P_y の x 軸方向の勾配に比例

する量であり、ストライプ間隔を短くすることで勾配は大きくなるため、 P_y のみでなく λ_x にも依存する。Fig 3はストライプ間隔と S_x, S_z の最大値との関係であり、 S_x はほぼ一定である一方、 S_z は λ_x の逆数(k_x)に比例して大きくなることからわかる。また、 $\lambda_x = 1.5 \mu\text{m}$ では、 $S_z > S_x$ となり、面直成分がSAMの最も主要な成分となる。 S_x と S_z は異なる空間分布を有しており、ストライプの間隔が狭まるにつれ、スピン強度最大の位置がストライプ中心部から間隙部に変位することが示唆される。

[1] K. Y. Bliokh, F. Nori, Phys. Rev. A **85**, 061801 (2012)

[2] P. Shi, L. Du, *et al.*, PNAS, **118**, e2018816118 (2021)

[3] N. Ichiji, D. Oue, *et al.*, Phys. Rev. A **107**, 063517 (2023)

[4] N. Ichiji, H. Kikuchi, *et al.*, ACS Photonics, **10**, 374 (2023)

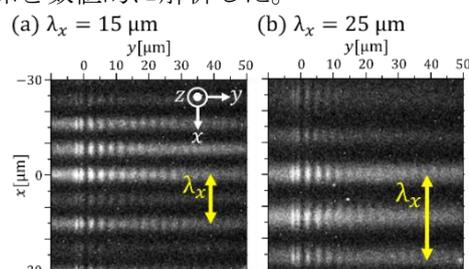


Fig 1. Optical micrographs for striped ST-SPPs with (a) $\lambda_x \approx 15 \mu\text{m}$, and (b) $25 \mu\text{m}$.

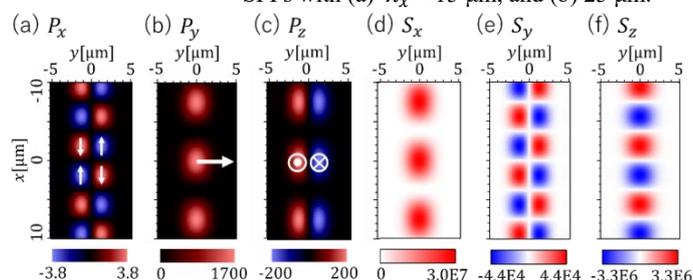


Fig 2. Distribution of the (a-c) energy flow density, and (d-f) t -SAM.

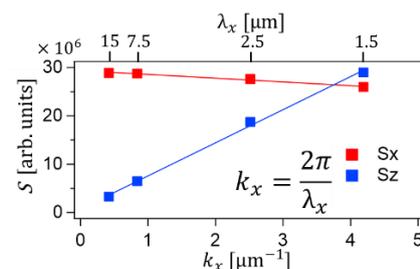


Fig 3. Correlation between λ_x and the maximum values of S_x and S_z .

光と電場を用いた CdSe/ZnS 半導体量子ドットの運動操作法の開発

Development of a manipulation method for CdSe/ZnS quantum dots using optical and electric fields

福井大工, ◯橋本卓, 右馬健太郎, 稲葉勇人, 守安毅, 熊倉光孝

Univ. Fukui, ◯Taku Hashimoto, Kentaro Migiuma, Hayato Inaba, Takeshi Moriyasu, Mitsutaka Kumakura

E-mail: mtstk_kumakura@apphy.u-fukui.ac.jp

近年様々なコロイド状半導体量子ドットの開発が進められており, これらのより精密なサイズ選別や構造化を可能とする手法が期待されている。我々は, AC Stark 効果により励起状態の量子ドットのエネルギーが安定化するという報告 [1]に着目し, 静電場と光励起を用いて常温液体中で量子ドットの運動操作を行う実験を進めている。

これまでに, 空气中に配置したガラスキャピラリーに量子ドット溶液を封入し, 外部から不均一電場を印加するとともに, キャピラリー中心軸に沿って集光レーザービームを照射して, 量子ドットのトラップの様子を観測することに成功しているが, トラップの中心が電場の極大位置とは一致しておらず, 対流の影響などが示唆された。そこで, 本研究では対流を抑制するためキャピラリー中の試料溶液をフローさせるとともに, より強い電場を印加するため, 電極とキャピラリーをともに高誘電率溶媒中に配置するように改良を行った。その結果, 試料溶液のフロー下でも従来同様な量子ドットのトラップが観測された (図 1)。本講演ではこれら

の実験の概要と現状の課題について報告する。本研究はJSPS 科研費 JP22K04870 の助成を受けたものです

[1] S. A. Emedocles et. al, Phys. Rev. Lett. **77**, 3873 (1996).

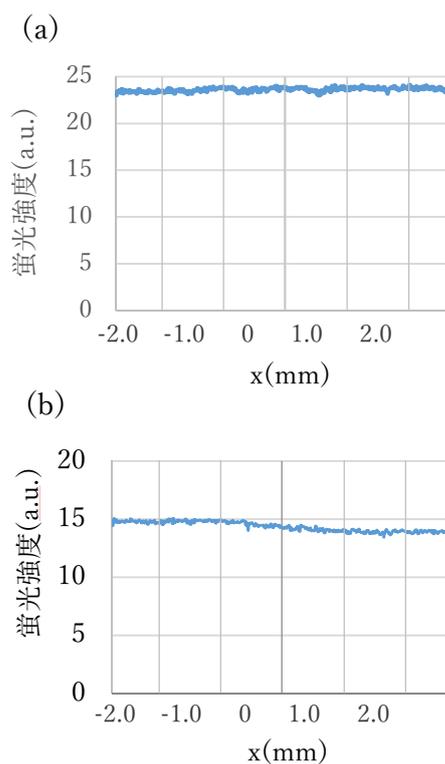


図 1. キャピラリー軸方向の量子ドット密度分布, $x = 0$ が電場極大位置. (a)測定開始時, (b)測定開始から 4 時間後

Optical Trapping Induced Surface Deformation at Protein Solution

National Yang Ming Chiao Tung University, Taiwan¹

°Chia-Hong Su¹, Po-Wei Yi¹, Chih-Hao Huang¹, Mu-En Li¹, Hiroshi Masuhara¹

E-mail: sudavid718@gmail.com

Optical trapping is an innovative technique for controlling small substances inside the laser focus, such as protein molecules. In our group, we adopted polystyrene microparticles (PS MPs) to help us figure out the protein assembly during the lasing action. Upon turning on the trapping laser, protein clusters are trapped, forming the assembly larger than the laser focus. Surprisingly, we found a linear stick-like assembly of PS MPs following the growth of the protein assembly edge¹, and its surface lift-up just by pending the solution for 1 hour before switching on the trapping laser. The observation suggests that optical force is stronger than surface tension, leading to this interesting breakthrough behavior of solution surface.

In figure 1(a), all PS MPs of 6 μm diameter after pending 1 hour are well dispersed on the solution surface due to the buoyancy. As switching on the trapping laser, optical force strongly exerts pressure on the protein assembly resulting in surface deformation. The transmission intensity of PS MPs around the focus gives large difference, indicating that the height in z-direction of PS MPs near the laser focus is higher than the original state. Solution without lysozyme protein is also done as a control group, showed in the figure 1(b). PS MPs formed the hexagonal packing, which is consistent with our previous research. We also determine the height change of surface deformation, which is around 3.65 μm by making and using correlation curves, given in Figure 2. This new finding phenomenon offers a viewpoint of understanding optical trapping at the air solution surface².

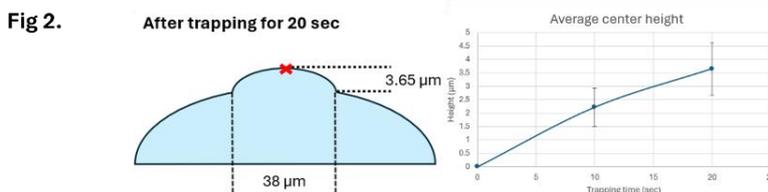
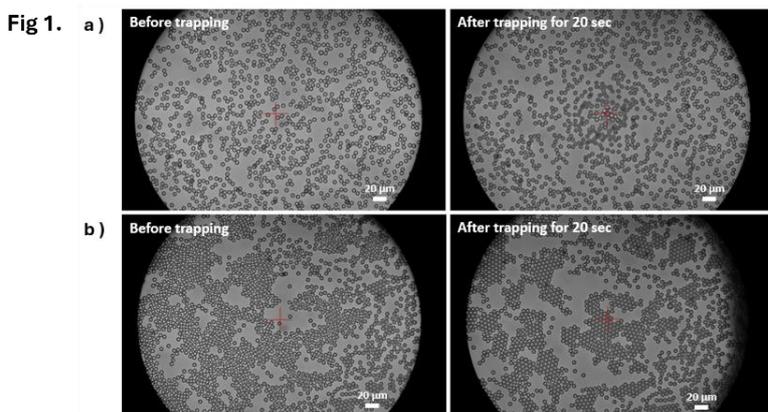


Figure 1. Transmission image of 6 μm PS MPs in (a) lysozyme (375 mg/mL) D₂O solution (b) D₂O

Figure 2. Illustration of surface deformation in lysozyme (375 mg/mL) D₂O solution after trapping for 20 sec

1. Po-Wei Yi et al., *J. Phys. Chem. C*, 125, 18988 (2021).
2. Hiroshi Masuhara, Kenichi Yuyama, *Annu. Rev. Phys. Chem.*, 72, 565 (2021)

液体ドロップレット中に形成したアゾ微粒子の光書換構造の評価 Evaluation of optically rewritable structures of azo particles formed in liquid droplets

新潟大¹, [○](M2) 藤本 悠佑¹, (M2) 井上 達貴¹, 村松 正吾¹, 新保 一成¹, 大平 泰生¹

Niigata Univ.¹, [○]Yusuke Fujimoto¹, Tatsuki Inoue¹,

Shogo Muramatsu¹, Kazunari Shinbo¹, Yasuo Ohdaira¹

E-mail: ohdaira@eng.niigata-u.ac.jp

【概要】 マイクロサイズの液体ドロップレットの形状と光学特性の可変性は、光信号制御や振動センシングなどへの応用が期待できる。さらに、液体ドロップレット中に構造を形成できれば、ネットワーク光導波路による光多重信号や多様な構造による固有振動スペクトル制御を活用できるものと考えられる。本研究は、アゾベンゼン微粒子[1, 2]を内包した液体ドロップレットにおける光書換えマイクロ構造の形成手法を開発することを目的としている。ここでは、マイクロサイズのグリセリンドロップレット内でのアゾベンゼン微粒子の多段階光励起によるネットワーク構造の形成過程について、光変形の動的過程を定量的に解析した。

【実験方法】 実験系の概要を図1に示す。PMMA-co-DR1 アゾポリマー分子をコロイド法により微粒化し、ガラス基板上に分散させた。複数のアゾ微粒子に対して、先鋭化したピペットチューブにより直径 25 μm のグリセリン液滴を滴下した。波長 532 nm, 強度 69 mW のレーザーの集光スポットを用いてアゾ微粒子を多段階的に励起し、ドロップレット中に形成されるマイクロ構造を顕微鏡観察した。MATLAB を用いた画像解析により粒子面積などの形状の時間変化を評価した。

【結果と考察】 図2に間隔約 5 μm で2つのアゾ微粒子を内包したグリセリン液滴の光変形の例を示す。液滴の配置方向と一致する S 偏光でアゾ微粒子を 3 sec. 励起すると、アゾ微粒子が 15 μm 延伸、互いに結合し、直径約 25 μm の M 字構造が形成された。さらに別のアゾ微粒子を追加し、S 偏光照射すると M 字構造と結合した Y 字型のネットワーク構造が形成された。これらの光変形過程におけるアゾ微粒子系の面積の時間変化を図3に示す。光照射により、アゾ微粒子系の面積が急激に増大し、その後、面積が一定となる傾向が確認された。初期の光変形によりワイヤー状構造が形成され、その後の操作で構造全体の面積を保ちながらより微細な構造が形成される可能性が考えられる。構造の複雑性の定量化などの詳細について当日報告する予定である。

【参考文献】 [1] Y. Ohdaira et al., *Applied Phys.* 103104 (2019), [2] 平島他, 応物秋, 21a-A307-2 (2021)

【謝辞】 本研究の一部は科研費 (24K00896) により行われた。

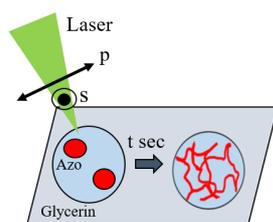


Fig.1. Experimental setup

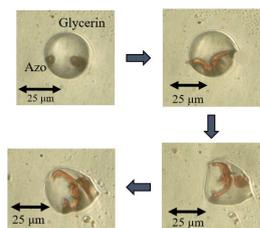


Fig2. Optical microscope image of azo particles optically deformed in glycerin droplet

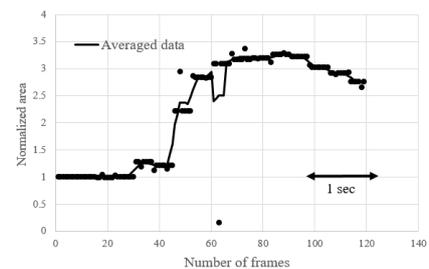


Fig3. Area changes of azo particles in droplet due to light irradiation

3D プリントフレクシャ機構とマイクロビーズを利用した低コスト超解像顕微鏡の作製

Fabrication of Low-cost Super-resolution Microscope using 3D-printed Flexure Mechanism and Microbead

三重大院工¹, [○]辻諒比路¹, 松井龍之介¹

Mie Univ.¹, [○]Akihiro Tsuji¹, Tatsunosuke Matsui¹

E-mail: matsui@elec.mie-u.ac.jp

近年の 3D プリンターの普及に伴いこれまで複雑な加工が必要であったものの自作が容易になった。中でも近年開発された OpenFlexure 顕微鏡[1]は、3D プリントしたものでありながら数十 nm 程度の非常に高い位置決め精度を持っている。また、3D データが公開されているため、拡張パーツを自作することで、目的に応じた光学顕微鏡を作成することができる。当研究室ではこれまでに OpenFlexure 顕微鏡に数点の追加部品を組み合わせて光セクションング像の取得が可能な構造化照明顕微鏡を報告してきた[2][3]。

一方で、超解像を得る方法として、対物レンズと試料の間に直径が数 μm の誘電体球を挿入することで拡大鏡として用いる方法が報告されている。この方法では、通常の光学顕微鏡では解像することのできないブルーレイディスク表面の凹凸の観察を可能にしたなど、解像度を大きく向上させたという結果が報告されている[4]。マイクロビーズを試料上の任意の位置に移動させる方法としてガラス棒の先端にマイクロビーズを取り付け、操作可能にするという方法がとられている。

本研究では、3D プリントフレクシャ機構とマイクロビーズを組み合わせて、低コストで作成ができる超解像顕微鏡の実現を目的とした。OpenFlexure Delta Stage[5]を用いた顕微鏡本体に、OpenFlexure Block Stage[6]によって作成したマイクロビーズの操作機構を取り付けた。これにより Raspberry Pi によってマイクロビーズを高精度に操作できる顕微鏡を構築した。マイクロビーズは、ガラス棒の先端に熱を加えて溶かすことにより作成した[7]。ブルーレイディスク表面の凹凸の観察に成功した。

参考文献

- [1] J. P. Sharkey et al, Rev. Sci Instrum., vol87, pp.025104-1-7, (2016)
- [2] 松井, 藤原, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 21a-A307-7(2022)
- [3] T. Matsui and D. Fujiwara, Opt. Express 30, 23208 (2022)
- [4] M. Duocastella et al., Sci. Rep. 7:3474 (2017).
- [5] S. Mcdermott et al., Opt. Express Vol. 30, No. 15, pp.26377-26395 (2022)
- [6] Q. Meng et al., Opt. Express, Vol. 28, No. 4 pp.4763-4772 (2020)
- [7] A. Akash et al., J. Raman Spectroscopy, Vol.49 Issue5, pp.897-902. (2018)

パルス電子線を用いたカソードルミネセンスによる発光寿命測定

Cathodoluminescence lifetime measurement by pulsed electron beam

東工大¹,○(M2) 稲目航大¹, 柳本宗達¹, 安達良和¹, 三宮工¹Tokyo Tech.¹○(M2)Kodai Iname¹, Sotatsu Yanagimoto¹, Yoshikazu Adachi¹, Takumi Sannomiya¹,E-mail: iname.k.aa@m.titech.ac.jp

1. 背景

発光材料の発光ダイナミクスは光学デバイスにおける通信・計算速度を律速するため、発光寿命の測定は重要な技術となる。中でも電子線励起発光であるカソードルミネセンス(CL)による測定では、光の回折限界を超えた光学特性評価が可能となる。近年では Hanbury-Brown-Twiss (HBT) 法を用い、光子間の時間相関を計測することで、発光寿命測定を行う研究が報告されている[1]。一般的な、電子がランダムに飛来する連続電子線を用いた CL-HBT 測定では、一つの電子で複数の光子が同時に生成される。このとき時間相関関数は光子バンチングといわれる状態を示す。しかし、発光寿命に対し電子の飛来時間が短くなるとバンチングピークが小さくなり、発光寿命の測定が困難となる。本研究では、電子線のパルス化により、トータル電流を確保しつつ電子の飛来時間を長くすることで、通常電子線では測定困難な数百 ns 以上の長寿命の発光を測定する。

2. 実験方法

測定対象として、本実験では 500ns 以上の長い発光寿命を持つ CsI:Tl を用いた。測定には HBT 干渉計を導入した CL 機構を持つ走査型(透過)電子顕微鏡を用いた(Fig.1(a))。電子線のパルス化には静電シャッターを用いた。Start 検出器に光子が入射した時刻から、Stop 検出器が次の光子を検出するまでの時間 τ を測定し、相関ヒ

ストグラムを得る。

3. 結果

Fig.1(b)はパルス間隔 $\tau_p = 10\mu\text{s}$ 、パルス幅を 125ns としたパルス電子線を用いた測定結果である。 $\tau = 0$ におけるピークは単一パルス内の光子の時間相関、 $\tau = m \cdot \tau_p$ におけるピークは m パルス離れたパルス間の時間相関に対応する。 $\tau = 10\mu\text{s}$ ($m=1$) に位置するピーク対して指数関数でフィッティングを行った結果、CsI:Tl の発光寿命はおおよそ 516ns と測定された。これは想定されている発光寿命と一致する。

4. 結論

パルス電子線を用いた CL-HBT 計測により、電子線パルスと光子計測を時間同期することなく、数百 ns 以上の発光寿命の測定が可能となった。

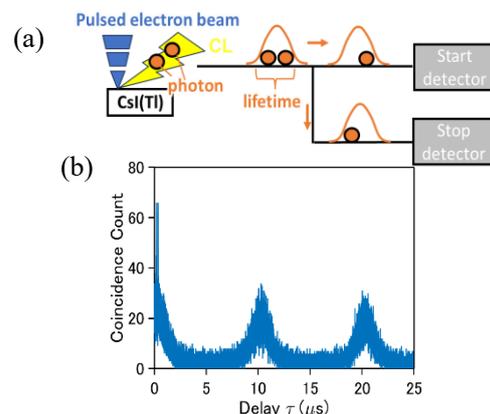


Fig.1(a) Measurement system. (b) Result of HBT measurement using CsI:Tl by pulsed electron beam.

参考文献

[1] S.Yanagimoto, N.Yamamoto, T.Sannomiya, K.Akiba, Physical Review B **103**, 205418(2021)

体積偏光ホログラフィ用フォトポリマーの検討

Study of photopolymers for volume polarization holography

宇大光工学¹, 宇大 CORE² (M2)[○]石岡 滉大¹, 茨田 大輔²

Opt., Eng., Utsunomiya Univ.¹, CORE, Utsunomiya Univ.², [○]Koudai Ishioka¹, Daisuke Barada²

E-mail: mc236543@s.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

近年、インターネットやデータセンターの普及、発展に伴いデジタルデータの流通量が増加しているため、より高速かつ高密度・大容量な記録装置が求められている。寿命の長いコールドストレージ用として体積ホログラフィックメモリが検討されていたが、未だ実用化にはいたっていない。本研究グループでは、さらに大容量化を図るため、体積偏光ホログラフィックメモリを検討してきた 1)。従来の体積偏光ホログラフィックメモリは、十分に重合させたポリマー中に偏光感受性の光反応分子を分散させた材料系を用いていた。しかし、この系は 2 ケミストリーと呼ばれるフォトポリマーに比べて容量を大きくすることができない。そこで本研究では 2 ケミストリー系フォトポリマーをベースとした材料系を検討する。

2. 体積偏光ホログラムの記録実験

本研究では、体積偏光ホログラムの記録材料として、エポキシ系ポリマーマトリックスにスチレンと光重合開始材を分散させた 2 ケミストリー系フォトポリマーに、さらにベンゾフェノン分散させた系を用いた。ベンゾフェノンはポリマーと光グラフト反応することが知られており、その際偏光依存性が生じる。この効果がゴム状の 2 ケミストリー系フォトポリマーで生じるか確認した。

体積偏光ホログラムの記録再生光学系を Fig.1 に示す。厚さ 1mm のフォトポリマーに波長 405nm の半導体レーザーを照射することで直交円偏光による記録再生実験を行なった結果、Fig.2 のように記録に使用した画像が回折された。今後は、記録材料の適切な混合比と露光時間を調べ、多重記録を行う。

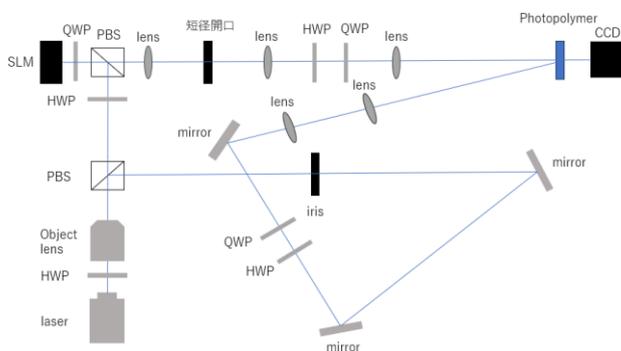


Fig.1 Optical system



Fig.2 Reconstructed image

参考文献

- 1) Takanori Ochiai. et. al., Opt. Lett.,38, No.5, p.748-750 (2013)

相変化浮遊電極を用いた誘導電荷電気浸透流による 液中マイクロ粒子の収束および分離

Collection and separation of microparticles in liquid by induced-charge electroosmosis flow using phase-change floating electrode

慶大理工¹, 産総研², 東北大学³ ○(M2)江藤 翔太¹, (M1)大久保 寧雄¹, 畑山 祥吾², 牧野 孝太郎², 齊藤 雄太³, 齋木 敏治¹

Keio Univ.¹, AIST², Tohoku Univ.³, °Shota Eto¹, Neo Ohkubo¹, Shogo Hatayama², Kotaro Makino², Yuta Saito³ and Toshiharu Saiki¹

E-mail: shouta.etou1110@keio.jp

病原体や細胞の迅速な濃縮および選択的抽出は、医療診断や環境調査などの分析アプリケーションに不可欠である。代表的な方法としては、マイクロ流体内で濃縮された分析対象物や希釈剤を合成する方法があるが、これらの方法は時間がかかり、流路構造が複雑になるという欠点がある。一方、誘導電荷電気浸透流 (Induced Charge Electro-Osmosis; ICEO) を用いたマイクロ流体システムは、流路構造が簡単でリアルタイムに検出できることから近年注目を集めている。ICEO は電場によって駆動される対イオンの動きに応じて液体が流れる現象である。これまでの研究では、浮遊電極にインジウムスズ酸化物 (ITO) を用い、ICEO を発生させて流体中の粒子を収束させている。ICEO の原理に基づくマイクロ流体デバイスの作製には、ITO のリソグラフィ・パターンニングが必要であり、これは高速、低コスト、フレキシブルなデバイス作製のボトルネックとなっている。

本研究では、リソグラフィを用いずに浮遊電極を形成する方法として、導電性と絶縁性の二相を持つ相変化材料である $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST) の利用を提案する。GST は結晶相で導電性を示すため、レーザー走査によりアモルファス相 GST 薄膜上に任意の結晶相領域を形成することで、従来の ITO と同等のデバイスを作製することができる。原理検証実験では、 SiO_2 基板の上に成膜した膜厚 50 nm のアモルファス GST 薄膜に、パルスレーザーを用いて帯状の結晶相領域を形成した。Fig. 1 に示すセットアップを用いて、交流電場 ($V = 20$ V, $f = 300$ Hz) を印加し、結晶相領域に向かって ICEO を発生させた。その結果、ICEO の影響を受けて、懸濁液中の微粒子が結晶相領域の両側から中心に向かって集まっていく様子が観察された (Fig. 2)。また、ICEO の電圧・周波数依存性を検証するために、同様のセットアップを用いて交流電場 ($V = 20$ V, $f = 1$ kHz), ($V = 10$ V, $f = 300$ Hz) を印加した。その結果、Fig. 2 と比較して ICEO の速度が電圧・周波数の変化に伴って変化していることが確認された。さらに、大きさの異なる 2 種類の微粒子を混合し、同様のセットアップを用いて、交流電場 ($V = 10$ V, $f = 300$ Hz) を印加した。その結果、ICEO が発生し結晶相領域において大きさに応じた微粒子の分離が観察された (Fig. 3, Fig. 4)。

本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) の委託研究 (JPJ012368C03701) により得られたものである。

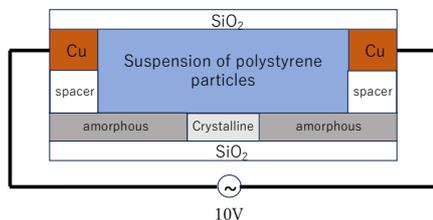


Fig.1: Schematic diagram of the experimental setup

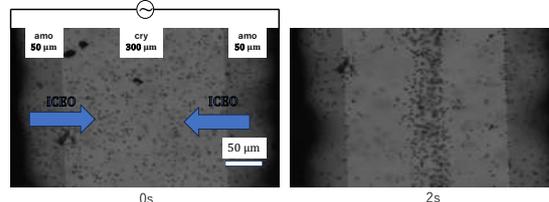


Fig.2: Polystyrene particles of 3 μm diameter gathered in the crystalline phase area (white area) on the GST substrate under the influence of ICEO.

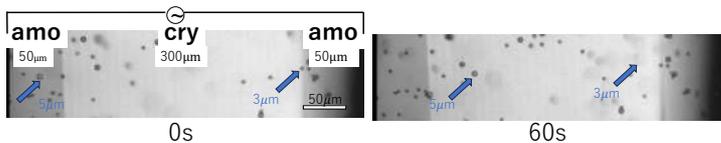


Fig.3: Polystyrene particles 3 μm and 5 μm in diameter separated by the crystalline phase area (white area) on GST substrate under ICEO influence

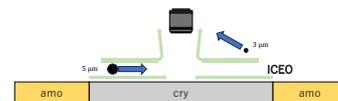


Fig4: Schematic diagram of the cross section of the experimental setup during particle separation