

レーザ・バブルペンリソグラフィがコロイドナノ粒子パターンを作る

量子ドットや金属ナノ粒子のようなコロイド粒子が重要デバイスとして現れつつある。アプリケーションはマイクロエレクトロニクス、再生可能エネルギー、それに医療分野ではセンシング・薬剤輸送がある。残念なことに、フォトン、集束イオンビーム、あるいは電子ビームを使う標準リソグラフィ法は、固体基板にこのような粒子のパターンを描くことはできない。光ピンセットは、粒子の多目的操作に強力な機能を提供するが、粒子を基板に静止させるという点ではまだ課題がある。また、ハイパワー動作(最大 $100\text{mW}/\mu\text{m}^2$)が、そのアプリケーションを限界づけている。

テキサス大研究者が開発した独自の方法は、極めて低出力のレーザを使って、プラズモン基板とコロイドナノ粒子を含む溶液との間の界面にマイクロバブルを形成する。この「バブルペン」



図1 テキサス大の研究者がレーザ・バブルペンリソグラフィ描写を実証。

は、対流、表面張力、気体の圧力を使ってバブルの方に粒子を引き出す。このバブルペンリソグラフィ(BPL)技術を使うと、様々な分解能とアーキテクチャを持つ任意のパターンが光学的に基板上に描ける。

プラズモンにより改善された光熱効果

ガラススライド上の1ケタナノメートル

間隔をもつ数10nm オーダーサイズのナノ粒子をプラズモン基板として用いる。パタニングには、ナノ粒子のプラズモン共鳴波長にチューニングした、 $1\text{ケタ}\text{mW}/\mu\text{m}^2$ レベルのローパワーレーザが適している。

バブルを形成するために、 $2\mu\text{m}$ 径のレーザビームをプラズモン基板の下側から、コロイド粒子溶液が基板と $120\mu\text{m}$ スペースを持つカバースリップに挟まれた基板に集中させる。プラズモンにより改善された光熱効果からの水蒸気のために、 $1\mu\text{m}$ に縮小したバブルの直径が、プラズモン基板上に形成される。

次にコロイド粒子は、マイクロバブルの方へ引き出され、バブル・溶液界面にトラップされ、基板に静止させられる(図1)。レーザパワーを切ると、粒子はパターン形成された場所に残る。これは、熱効果で基板への接着が

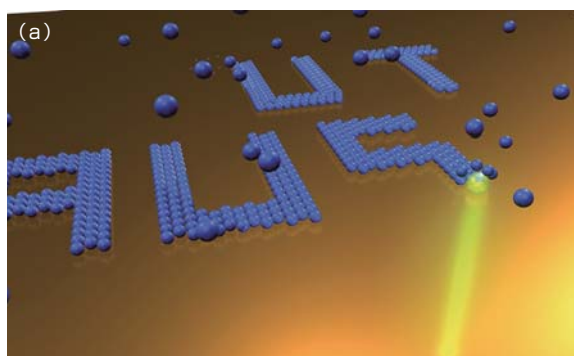
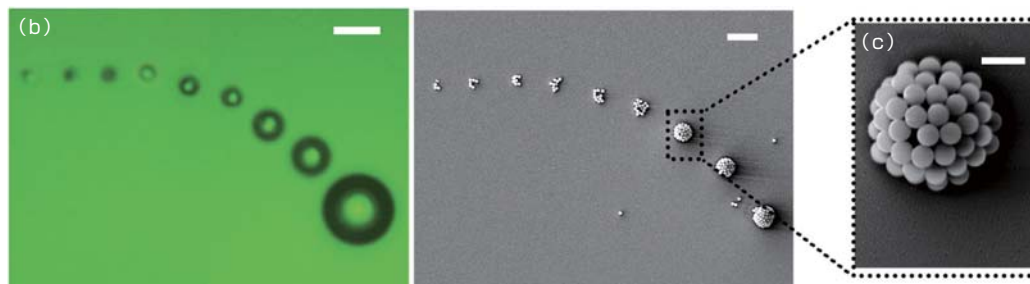


図2 バブルペンリソグラフィ(BPL)は、プラズモン基板上に量子ドット、ポリスチレンビーズ、その他の粒子などのコロイド粒子のパターンを描く一つの方法。これにはレーザを使って光学的に制御されたマイクロバブルを作る。そのマイクロバブルが粒子をトラップしバブルに静止させる(a)。多様なレーザパワー密度が、異なるサイズ(b)のバブルを作る。バブルは、バブルそのものの球状シェルに3D形状の粒子をトラップできる(c)。



強化されているからである。このような粒子パターンは、基板を洗浄し乾燥した後でも残るので、その方法は機能デバイス作製に適用可能である。レーザービームをペンとして利用し、レーザービームのスキャンとともにバブルを動かすことでナノ粒子のパターンを形成する(図2)。

マイクロバブルにおける粒子トラップは、基板の温度勾配によって生ずる自然対流とマイクロバブル表面に沿った表面張力勾配によって引き起こされるマランゴニ(Marangoni)対流の組み合わせによるものである。バブルの面内牽引力が粒子を引き付け、それがマイクロバブル表面に触れたときに粒子を捉える。これは、力の方程式によ

って定量化、予見される現象である。実際、バブルの温度分布も計算流体力学(CFD)シミュレーションによって予見できる。

追加実験で、異なるパワー密度のレーザーを使って様々なサイズのバブルが作られた。バブルは、ポリスチレンビーズのようなナノ粒子を含んでいる。一種の3Dシェル構造になっており、レーザーパワーレベルは $1\text{mW}/\mu\text{m}^2$ 程度、一般的な光ピンセットより100倍ローパワーである。

「形成された粒子には、様々なアプリケーションがある。それは、粒子のタイプによって決まる。例えば、金属

ナノ粒子はメタサーフェスやメタマテリアルになる。これらは自然の材料ではできないような方法で光を操作できる。また形成された生体細胞は再生医療や高スループット薬剤スクリーニングに重要なアプリケーションが見つかる」とテキサス大イェビン・ツェン(Yuebing Zheng)准教授は話している。「われわれの今後の研究は、その技術のスループットと自動化のさらなる改善である。これはコロイド粒子や生体細胞をもつ機能材料やデバイスの量産に向けたものである。アプローチの1つはマルチビーム処理の開発である」。

(Gail Overton)

参考文献

(1) L. Lin et al., Nano Lett., 16, 1, 701-708 (2016); doi:10.1021/acs.nanolett.5b04524.

LPWJ

光産業技術マンスリーセミナー



Optoelectronics Industry and Technology Development Association

プログラム (6~7月)

No. / 開催日	講演テーマ / 講師
第 397回 6月21日(火) 15:30-17:30	「光信号処理技術の光通信・集積化への展望」 講師: 植之原 裕行氏 (東京工業大学)
第 398回 7月19日(火) 15:30-17:30	「蛍光・化学発光タンパク質を利用した生理機能の可視化」 講師: 永井 健治氏 (大阪大学)

- 場所 一般財団法人光産業技術振興協会
- 定員 各60名
- 参加費 光協会賛助会員: 1,500円(税込み) / 一般参加: 3,000円(税込み)
※支払いは、当日受付にて現金でお願いします。

- 申込方法 オンライン申込フォーム >>> http://www.oitda.or.jp/main/monthly/monthly_postmail.html
- 申込締切 定員になり次第締め切ります。なお、締め切った場合にはWeb上にその旨を掲載します。

問い合わせ先

一般財団法人光産業技術振興協会マンスリーセミナー担当 間瀬、潮田
〒112-0014 東京都文京区関口1-20-10 住友江戸川橋駅前ビル7F TEL:03-5225-6431 FAX: 03-5225-6435
E-mail: mly@oitda.or.jp URL: <http://www.oitda.or.jp/>