表面プラズモンポラリトンの流れを制御するエアリービーム

光は、外見上、回折なしで自由空間を湾曲したアーク状に伝搬することができる。そのような奇妙な光ビームは、虹内の光の放物線軌跡を研究したイギリスの天文学者ジョージ・エアリー卿にちなんで「エアリー（Airy）ビーム」と名付けられた。2007年に、エアリービームは米セントラル・フロリダ大学の研究チームによって実験室環境で初めて実証された[1]。その1年後、スコットランドのセント・アンドリュース大学の研究チームは、「エアリー」ビームの最初のアプリケーションを開発し、微小流体工学や細胞生物学で利用する湾曲経路内の粒子移動を実現した。

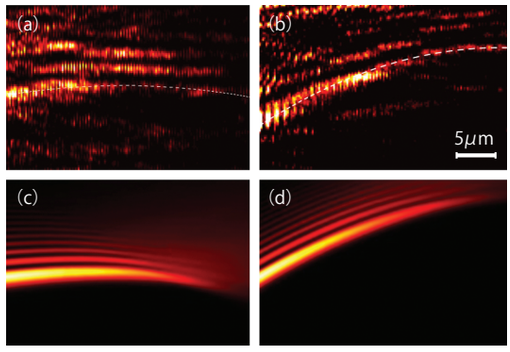

図1　プラズモニックエアリービーム（PAB）の軌跡はテストセットアップ内の光の入射角を変えることによって操作することができた。実験結果は7°入射角（a）と28°入射角（b）によって生成されたPABを示した。下部の画像はそれぞれ対応する数値シミュレーション（c）と（d）である。スケールバーは5μmである。（資料提供：カリフォルニア大学バークレー校）

最近、エアリービームは、金属‐誘導体界面に沿って表面プラズモンポラリトン（SPP）を制御するプラズモニクスに理論的に導入された[2]。米カリフォルニア大学（UC）バークレー校、米ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）、米サンフランシスコ州立大学の研究チームはそのようなプラズモニックエアリービーム（PAB）を実験で実現した。さらに重要なことに、彼らはこれらのPABの軌跡を実時間でダイナミックに制御する方法を発見し、再構成が可能な光インターコネクトやオンチップナノ粒子操作に使える金属表面上のSPP流れを制御する新しいアプローチを提案した[3]。

プラズモニックエアリービーム

光集積回路などの光ルーティング用途で金属／誘導体の表面上を平行に伝搬する電磁波SPPを操作するには、永久的な（そして組み立て困難な）ナノ構造が必要になる。しかし、自由空間エアリービームを回折格子カプラで金属表面のSPPに直接結合させることによって、SPPは回折もせずいかなる物理的な導波路構造もなしに放物線軌道に沿ってダイナミックに経路指定される。このようなPABの軌道は発射条件の機械的調整またはコンピュータ制御された空間光変調器（SLM）によって実時間で変化させることができる。PABは、粗い構造や障害物があっても、金属表面上の光ルーティングを可能にする。

実験装置において、一次元のエアリービームは、立体位相マスク経由でSLMを通過させた820nmのレーザ光を、20X対物レンズを通してフーリエ変換することによって生成した。その出力を石英基板上の50nm厚みの金膜中にエッチングされた805nm周期格子に入射させた。半波長板はビームの偏光が格子ベクトルに平行になることを保証した。励起されたPABは漏洩放射顕微鏡の光遠視野法を使って監視された。対物レンズの横または縦方向の移動、あるいはSLM内の入射ビームと位相マスクの位置をコンピュータでの調整によって、PABの経路をダイナミックに調整した。これらの変位を使えば、PABの弾性運動ならびにPABアーク内のピーク強度位置を操作することができる（図1）。

UCバークレーの全米科学財団ナノスケール科学技術センターの所長とLBNLの教員科学者を務め、この研究のリーダであるシャン・チャン教授は、「わたしたちの結果は、PABの初の実験的な証明であることとは別に、いかなる永久的導波路構造も作ることなく実時間で表面エネルギーをダイナミックにルーティングする新しい方法を可能にする。それは、さまざまな分野の研究者たちを各種の応用を目指した新しい技術やツールの開発へと駆り立てるであろう」と語っている。チームメンバーの1人、パン・チャン氏は、「わたしたちの方法は最新のプラズモニック光センサの感度を高めることができ、グラフェンやトポロジカル絶縁体を含む他の低次元系内のエアリー表面波励起にも直接適用できるであろう」と付け加えた。（Gail Overton）

参考文献
（1）G.A. Siviloglou et al., Phys. Rev. Lett., 99, 213901（2007）.
（2）A. Salandrino et al., Opt. Lett., 35, 2082（2010）.
（3）P. Zhang et al., Opt. Lett., 36, 16, 3191–3193（2011）.

LFWJ