

チップスケールの分子センサを創製する QCL ファセット上プラズモンアンテナ

中赤外近接場走査光学顕微鏡装置を使って、パタン化量子カスケードレーザ(QCL)の近接場画像を観察し、そのトポグラフィを試験した。

蛋白質や薬剤などの多くの生体分子は電磁スペクトルの中赤外線(MIR: 2~30 μm)領域に固有振動をもつため、MIR光源を使用する分子バイオセンサが非常に望ましい。あいにく、レーザ発振波長がプローブされる分子のサイズに比してかなり長いいため、MIR光源と生体分子間の光-物質相互作用は弱い。

この難題を解決するために、米ノースウェスタン大学の電気工学・計算機科学部教授のフーマン・モーセニ氏をリーダーとするバイオインスパイアードセンサ・オプトエレクトロニクス研究所（BISOL：www.bisol.northwestern.edu）のチームは、光をナノメートルスケール以下に集束させ、近接場強度を大幅に増強する光ナノアンテナをQCL

と一体化させた⁽¹⁾。

ハイブリッドアプローチ

ほとんどのプラズモンナノアンテナの設計では金属材料だけを使用している。しかし、ノースウェスタン大学チームが提案したハイブリッド金属誘電体金属 (MDM) プラズモンナノアンテナは、そのモードを約500nmのナノメートルスポットサイズ内に閉じ込めることによって、全金属設計に比べて約4倍強い近接場強度を達成した。

このMDMナノアンテナ設計を最適化するために、有限差分時間領域(FDTD)モデリングソフトウェアを使って、近接場ピーク強度の増強とQCLフロントファセットに結合させたナノロッドアンテナの長さとの関係をモデル化した。この構造の作製にあたって、最初に、ヒ化インジウムアルミニウム/ヒ化インジウムガリウム系QCLの表面を金、二

酸化ケイ素、金のMDMサンドイッチ構造(各厚みは75、30、75nm)でコーティングした。次いで、集束イオンミリングを使ってQCLフロントファセット上にナノロッド構造を作製した。ナノロッドのサイズは約 $20\mu\text{m} \times 200\text{nm}$ である。

このパタン化QCLの近接場画像を観察し、そのトポグラフィを試験するために、MIR近接場走査光学顕微鏡装置を使用した(図1)。実験では、鋭角に白金被覆された原子間力顕微鏡(AFM)の先端でQCL(1%のデューティサイクルをもち100kHzでパルス幅100nsのパルスモードで動作)の表面を走査させ、アンテナ構造に由来する電磁場を散乱させた。散乱された信号はレーザ共振器を通して逆方向に進み、コリメートされ、その後対物レンズによってテルル化カドミウム水銀(MCT)検出器上に集束された。ロックイン技術によってAFMチップによる雑音が除去さ

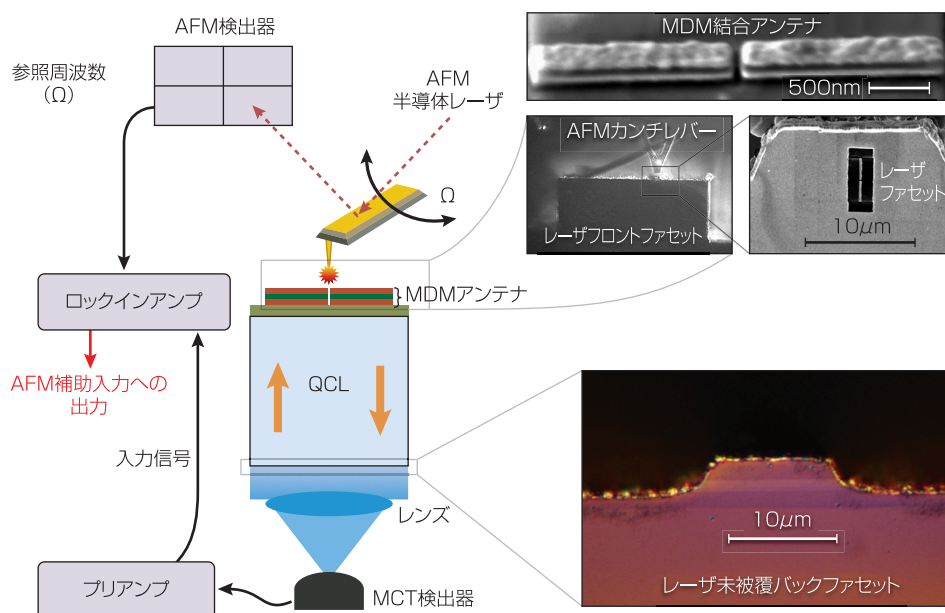


図1 近接場走査光学顕微鏡を使って、QCLのフロントファセットに結合されたプラズモンナノアンテナによって可能になった電磁場増強が測定された。この局所電場増強はこのデバイスを将来のMIRバイオセンサ用途に向けて確実なものにする。(資料提供：ノースウェスタン大学)

れ、その結果得られた信号が、作製されたナノアンテナの近接場強度パタンの画像を形成した。

ナノアンテナQCL構造における中心スポットの半値全幅 (FWHM) は約450nmであった。約6 μ mのレーザ波長を使うことによって、二つの明るいホットスポットがプラズモン混成によるFWHM内に観察された。

MDMのようなハイブリッド設計では、金属と誘導体間の二つの界面に支えられた二つの表面プラズモン波が存在する。単一金属設計とは異なり、これら複数の表面プラズモン間の相互作用は縮退を解いて対称と非対称のモードを生成する。幾何学的に非常に複雑なMDMに結合したナノアンテナ構造

では、一定の周波数で対称と非対称のモード間の混成が起こり、これが実験で観察された二つの明るいスポットの起源になっている。

バイオセンサのロードマップ

局所場増強は、分子がレーザ発振周波数と一致する振動エネルギーをもつ場合に、その分子の光吸収効率の増加に役立つ。プラズモンQCL統合ナノアンテナを使用するバイオセンサの課題は、局在化された近接場の特定の位置に、いかにして生体分子を置くかということである。生体分子をMIRレーザのホットスポットに送り出す方法として、研究チームはディップペンナノリソグラフィを提案した。モーセニ氏

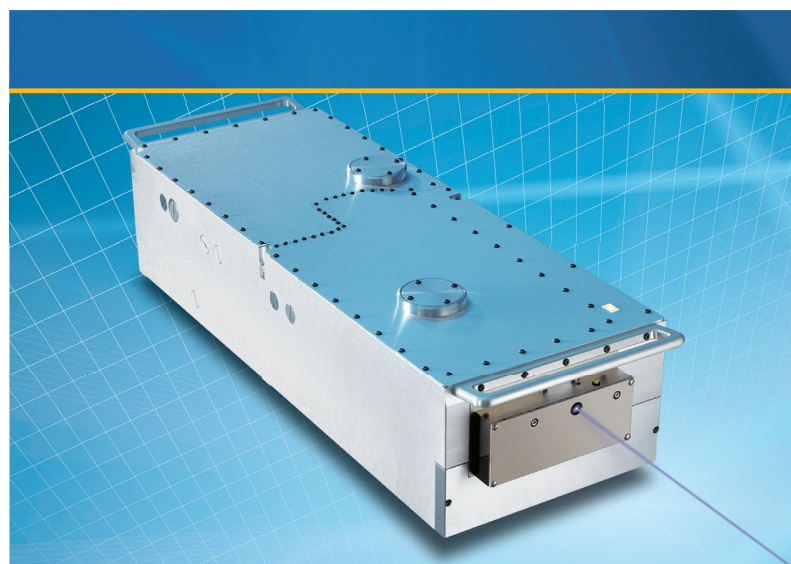
は、「この結果は、完全に統合され自己封入されたラボオンチップサイズの分子検出器の開発に向けた最初のステップだ。これは注意点情報をEMT (救急救命士) や医師に提供するために極めて重要なことである」と語っている。BISOLの大学院生、ディビエンデュ・デイ氏は、「分子振動のフィンガープリントに基づくセンサは、ラマンなどの従来技術に比べて本質的に敏感であり、われわれは、自分たちの技術によって極めて小型なMIRバイオセンサを実現できると確信している」と加えた。

(Gail Overton)

参考文献

(1) D. Dey et al., Opt. Lett., 35, 16, 2783-85 (2010).

LFWJ



High Peak Power LD励起高出力UV/グリーンレーザー

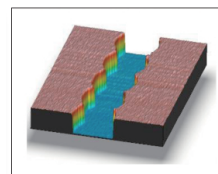
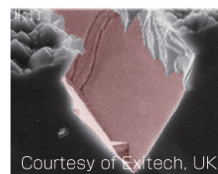
Pulseo®

製品情報・お問い合わせは <http://www.spectra-physics.jp>

スペクトラ・フィジックス株式会社

本社 〒153-0061 東京都目黒区中目黒4-6-1 大和中目黒ビル
大阪支社 〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町3-1-43 西本町ソーラービル

TEL(03)3794-5511 FAX(03)3794-5510
TEL(06)4390-6770 FAX(06)4390-2760



- 355nm 10W/20W及び532nm 34W
- 高出力、高繰返しにより加工スループットが向上
- 高エネルギーと高ピークパワーで高品質な加工が可能
- コンパクト設計で装置組込みが容易
- ファイバーカップル励起LDは電源内に格納、LD交換時のレーザーヘッド再調整は不要

アプリケーション:

PCBビアドリル、ポリマ材切断、
半導体加工、太陽電池加工など

 **Spectra-Physics**
A Newport Corporation Brand

 **Newport** Family of Brands – Corion® • New Focus™ • Oriel® Instruments • Richardson Gratings™ • Spectra-Physics®