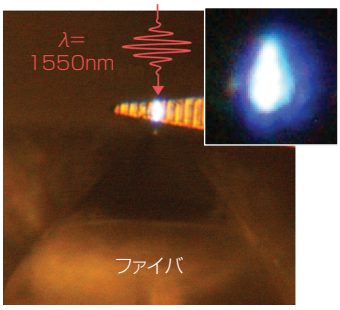
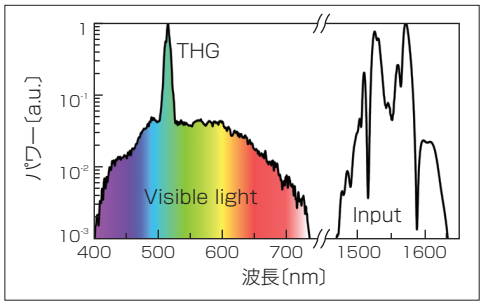
光による導波路内電子加速で白色光生成

カナダ、アルバータ大の研究者二人、ショーン・ゼーダベルクとアブドルハキム・エレザビ（エドモントン、AB、カナダ）は、ナノスケールシリコン導波路内で光励起の電子が加速されて数電子ボルト（eV）に達することを初めて示した。これは、強い閉じ込めプラズモン領域に存在する強いポンデロモーティブポテンシャル（動重力）によるものである[1]。1つの結果として、シリコン導波路からの強い白色光放出がある。シリコンは間接バンドギャップ材料なので通常は白色光を放出しないが、ここでは放出する。

ナノシリコンプラットフォームは、CMOSと親和性があり、1550nm波長域で動作し、043μm^2の超コンパクト方形面を占める。導波路そのものは、幅100nm、高さ340nmで、60nm厚金膜で覆われている。導波路は端面発光レーザで励起する。顕微鏡対物レンズを用いて84psのパルスを導波路に注入すると電界は最大5V/nmに達する。





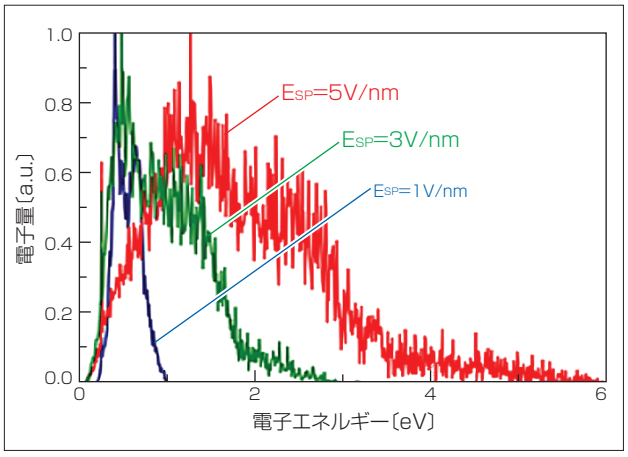


図1　ナノプラズモニック導波路は、中心波長1550nmの超高速パルスで励起され、電子なだれと白色光放出を起こす（顕微鏡画像、左上）。放出された光は、375～650nmの範囲の連続スペクトルで、三次高調波生成波長域にスパイクをともなう（右上）。計算した電子-エネルギースペクトルは、1、3、5V/nm（下）の超高速パルスにより生成された電界として示している（アルバータ大提供）。

電子なだれ

フェムト秒パルスが導波路を進むにつれて、2光子吸収（TPA）により自由キャリア電子を励起し、電子は弾道的に加速し（一部は衝突イオン化以上のエネルギーETになる）、最終的に価電子帯の電子と衝突する。衝突時にそのエネルギーが$<ET$なら、一部の電子はフォトンを放出する。エネルギーが$>ET$なら、その電子は別の電子を追い出す。結果は、電子なだれであり、これには375～650nmの広帯域の光放出と500～530nmの三次高調波をともなう（**図1**）。白色光出力はシングルモード光ファイバに集光される。

「可視光放出の急激な増加は、電子群が急激に増えたことを追認したものであり、光領域励振電子なだれの存在を実証している」とエレザビ氏は言う。同氏によると、衝突イオン化プロセスはアバランシェ・ドリブン半導体ダイオードで起こる現象と同じである。ただし、電子を加速するのが印可電界ではなく、光であるという点は異なる。

研究者たちが示したのは、超高速ポンププローブ時間領域分光法によって、電子が加速されることだけではない。半導体内部の電子も、ピコ秒のオーダーの時間スケールでナノプラズモン領域によって一掃される。この時間スケールは、予想されるスイーピング時間に対応している。この時間は、金/銀のプラズモン界面から電子が十分に遠く離れ、プローブとの相互作用が止まるまでにかかる時間に対応している。

「電子なだれプロセスの高い感度によって、コンパクトで感度のよい光回路および、ナノプラズモニックコンポーネントと電子コンポーネントとの接続の開発が可能になる」とエレザビ氏は言う。「これらの成果は、非線形ナノプラズモニクスの新しい分野の可能性を活用する手段になる。われわれが知る限りでは、半導体の光領域からエネルギーを得る電子の実験的実証は、ナノプラズモニックデバイスに新たな機会を開く新しい物理学となる」。

参考文献

(1) S. Sederberg and A. Y. Elezzabi, Phys. Rev. Lett. 113, 167401, October 14, 2014; doi: 10.1103/PhysRevLett.113.167401.

LFWJ