

電子・フォトニックICに 2Dジカルコゲナイドが有望

フォトニック回路と電子回路のモノリシック集積には、単一材料プラットフォームが望ましい。1958年、テキサス・インスツルメンツ社(TI)のジャック・キルビー氏は同じ半導体上に全ての電子コンポーネントを作製することの重要性に気づき、最初の集積回路(IC)を実証した。従来の半導体の問題は、たとえ発光できても、バンドギャップによる吸収が弱いために同じ波長で光を吸収できないことである。言い換えると、ディテクタとトランスミッタ間の光通信は、高価な波長変換あるいはハイブリッド材料スキームなしでは同じ材料上で実行できない。

とは言え、二次元(2D)遷移金属ジカルコゲナイド(TMD)が、電子と光の両方のデバイス向けに有望な、新しい種類の半導体ナノ材料として登場してきた。TMDにおける発光・吸収共鳴、つまり同じ波長で光の発光と吸収の両方ができる材料の能力は、その大きな励起子結合エネルギーによって可能になる。これら2D TMDは並外れた光特性と電気特性を持っており、それらを使って電界効果トランジスタ(FET)、フォトディテクタ、発光ダイオード(LED)やレーザなどの電子デバイスとオプトエレクトロニックデバイスを作製してきた。

2D TMDを用いて、中国の電子科技大(UESTC)、米ヒューストン大、ライス大、ベイラー大の研究者たちは、二硫化タングステン(WS_2)を用いて、共鳴光発生と表面プラズモンポラリトンの検出を実証した。 WS_2 は、2D TMD材料が電子・フォトニックICに

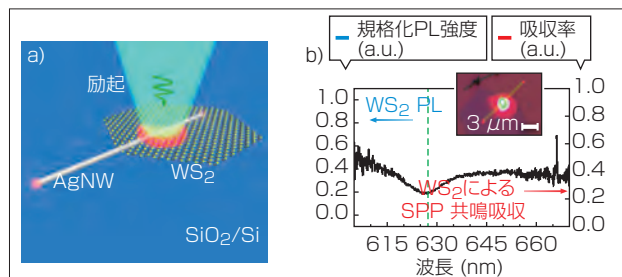


図1 概略図(a)は、表面プラズモンポラリトン(SPP)における WS_2 フォトルミネセンス(PL)を示す。スペクトルプロット(b)は、下層の WS_2 による WS_2 PLとSPPの共鳴再吸収を示す。挿入図は光学的画像。(資料提供：ヒューストン大 Bao Lab)

理想的であることを証明しているTDM⁽¹⁾である。

同一波長で

研究者たちは、化学蒸着(CVD)を使って単層 WS_2 を基板に合成した。次に、直径120nmの銀ナノワイヤを単層 WS_2 上に配置し、プラズモン導波路として使った。顕微鏡対物レンズを通して532nmレーザ励起で、 WS_2 からのPLは銀ナノワイヤに結合。 WS_2 によるSPP再吸収スペクトルは WS_2 PLスペクトルと完全に重なったことを研究者たちは確認した。同じ半導体材料で光発光と吸収の共鳴が、SPPで観察されたのはこれが初めてである。

追加実験では、ナノワイヤの直径に関わらず WS_2 の効果が強力であることが測定された。120nmのナノワイヤでは、伝搬長 $2.4\mu\text{m}$ が得られ、これは実験値とよく一致している。加えて、SPP波長は、異なるTMDを選択することで選定できる、あるいは変形またはドーピングによっても調整可能である。SPPの生成と検出は、光学的に実証されたが、デバイスは電気的手段によりSPPの局所的生成と検出ができるように簡単に変更できる。すなわち、同一TMD上のトランジスタ間のナノ

スケール光通信が可能である。

プラズモン導波路は、リソグラフィで範囲を定めることもできる。2D TMDの平面構造は、現在のリソグラフィ製造工程に適合するので、そのようなデバイスはオンチップ電子・光集積回路(EPIC)への集積は簡単にできる。研究者たちは、この発見に基づいて完全なEPICの実証に現在取り組んでいる。

「発光・吸収共鳴の観察は驚嘆すべきことである」とヒューストン大電気・コンピュータ工学部准教授、チミン・パオ氏は話している。「当初は、われわれは WS_2 から銀ナノワイヤへの光結合を調べただけである。銀ナノワイヤ端からの表面プラズモンが、 WS_2 フォトルミネセンスと同じ波長になると考えていたが、表面プラズモンの大幅な赤方偏移によりわれわれは組織分析をすることになり、そこで共鳴を発見した。われわれは、 MoS_2 、 WSe_2 、および $MoSe_2$ などの他のTMDからもっと多くの応用を研究している。近い将来、他の研究グループからTMDについてどんどん研究成果が出てくると考えている」。(Gail Overton)

参考文献

(1) Z. Zhu et al., ACS Photon., 3, 5, 869-874 (2016).