

S20210831_02_Berkeley

UC Berkeley、[黒リン](#)を使って新たな半導体デバイスの可能性を実証

UC Berkeley の電気工学・コンピュータ科学学部、研究チームは、2つのタイプのオプトエレクトロニックデバイス、LEDs とフォトディテクタ作製に使う新しい半導体材料、黒リン(BP)についての発見を発表した。

機械的歪を加えると BP は所望の波長、2.3~5.5 μm (短波から中波 IR)で赤外(IR)光を放出、または検出する。また、それを可逆的に室温で行うことができる、と Ali Javey は説明している。同氏は、ローレンスバークリ国立研究所のファカルティシニア科学者でもある。

研究成果は、これらの波長を達成する能力とともに、一つのデバイスで非常にチューナブルであることに意味がある。現在の技術は、同じ結果を得るために、多数の大きなデバイスと様々な半導体材料を必要とする。

研究成果は、Nature に発表された。

Javey と Kim によると、幅広い範囲の IR スペクトルを利用する能力、一つでバス内でチューニングできることは、光通信、サーマルイメージング、ヘルスマニタリング、分光学、化学センシングなどのアプリケーションで増え続ける需要対処に役立つ。この柔軟性を実証するために研究チームは、その新しいデバイスの一つを使って多数のガスを検出した。

バークリー主導チームは、オプトエレクトロニックデバイスでBPの薄い層を使い、それらを様々な歪度を適用した結果、予想外に大きな範囲で出力波長を可逆的にチューニングできることを確認した。BP と他の半導体材料の出力波長は、バンドギャップとして知られる特性。

オプトエレクトロニックデバイスが動作可能なスペクトル範囲は、その半導体材料のバンドギャップで決まる。多様なアプローチを利用して、所定のアプリケーションで所望の動作波長を達成できる。例えば、様々な成分の材料、合金と歪は、バンドギャップを調整するために使える。これらのアプローチは実際、効果的であるが、それらは固定動作波長のデバイスである。

「われわれの研究では、一つの PD あるいは LED が、ほぼ 2~5 μm 範囲で動作波長を調整できるように BP のバンドギャップをアクティブに変えることができ

る」(Kim)。

Javey によると、デバイス自体にイノベーションがあるが、BP も本質的に固有の特性を持つ。研究チームは、その 2 つの重要な特性を統合している。

BP はグラフェンとのように 2D 材料である。剥離プロセスで、研究者はスコッチテープを使ってその材料のナノメートルの薄い層を剥離する。これを次に柔軟なポリマ基板、この場合はポリエチレンテレフタレートグリコール(PETG)に移転する。

「それは機械的に柔軟であるので、それを所望の半径に曲げることで、それに対して制御的に歪を与えることができる。すなわち、曲げることは、BP のバンドギャップを変調するための効果的なつまみである。

Kim によると、その襞状格子構造のために BP は固有の歪依存特性を示す。それは、バンドギャップだけではなく、チューナブルファンデルワールス(van der Waals)相互作用と圧電性を含む。歪は、その薄い膜のために、可逆的に BP に適用できる。

一つのアプリケーションで研究チームは、非分散 IR ガスセンシングという技術を使用した。各ガスは、それ固有の吸収バンドをもっている(特定の波長でそれが吸収する光の量)ので、十分な出力波長範囲のチューナブル IR LED は、例えば人の呼気からの二酸化炭素を検出できる。それは、そのガスが、2.3~5.5 μm 内、約 4.3 μm で光を吸収するからである。チューナブル BP LEDs で検出できる他のガスに含まれるのは、メタンと水。

BP フォトディテクタのアプリケーションには、サーマルイメージングがある。それは、例えば、暗視ゴーグルで、人体のような発熱熱源を検出するために使える。そのようなチューナブルフォトディテクタは、IR 波長範囲で選択的サーマルイメージングができる。

材料的な視点から、われわれは、この波長範囲でより効率的な新しい半導体を特定することに大いなる関心がある。「それは、われわれが黒リンに注目し始めた時である。それが、Mid-IR 波長と重なるバンドギャップを持つことはすでに分かっていた。そこから、われわれは、この材料を使ってどのように効率的な LEDs や

フォトディテクタのようなデバイスを効率的に作れるかに注目した。しかし、ここで新しいことは、チューナビリティである。大きな波長範囲で、歪によりそのデバイスをアクティブチューニングできるのである」。

さらに先へ進んで、Javey は「このデバイスコンセプトはスペクトルの他の部分に適用できると考えている、恐らく可視光域で動作するデバイスでさえ作れる。これにより、例えば、新しいタイプのディスプレイが可能になる。これらのコンセプトや材料が、製造可能、拡張可能な仕方、微小化された電子機械的な手デバイスに組み込まれるなら、可能である」。

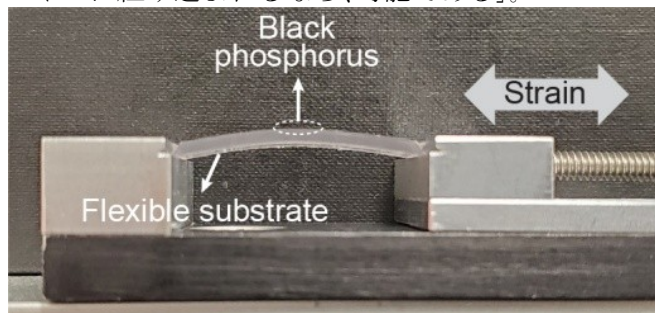


図 1 フレキシブル基板上的の黒リンは、基板を曲げると歪が生ずる (Credit: Hyungjin Kim/UC Berkeley)