

次々世代の電力社会を実現する ダイヤモンド・パワー半導体

生命体工学研究科生体機能応用工学専攻 准教授 渡邊 晃彦



1、はじめに

私は学部から大学院まで戸畑キャンパスで学び、ポスドクとして4年間企業での研究に携わったあと母校に戻ってきました。長らく戸畑で研究を行ってきましたが、今年4月に生命体工学研究科へ異動になり研究室を立ち上げることとなりました。私が取り組んでいる研究は「ダイヤモンド・パワー半導体」です。宝石で知られるダイヤモンドと半導体がなぜ結びつくのかを含めて、みなさまに私の研究を紹介できればと思います。

2、ダイヤモンド産業と人工ダイヤモンド

宝石として人々を魅了するダイヤモンド。高価でなかなか縁のないものと思われるかもしれませんが、ダイヤモンドは工業用として身近な場所に使われています。ダイヤモンドの硬くて強靱な性質を利用した切削工具や、熱を吸収しやすい性質を利用した放熱部品、振動を伝える速度が速い性質を利用してスピーカーの振動板に使われたりもしています。世界で消費されるダイヤモンドのうち、天然の宝石用は数%程度、天然の工業用が10%程度、あとは人工ダイヤモンドです。ダイヤモンドは炭素原子が3次的に結合した結晶で、その構造はダイヤモンド構造と呼ばれています。この結合を人工的に作ったものが人工ダイヤモンドで、天然のものと同じ性質を示します。ダイヤモンドの合成方法は大きく分

けて高圧法と化学気相法(CVD法)の2種類に分類されます。高圧法は自然界でダイヤモンドが形成される地下150km以深の高圧高温環境と似た環境をつくりダイヤモンドを合成します。この方法ではある程度の体積をもった粒子状のダイヤモンドを合成することができません。化学気相法は原料となる炭素原子を気体で供給し基板上にダイヤモンドを堆積させる方法です。この方法では薄膜状のダイヤモンドを合成することができ(写真1)。これらの方法は人工ダイヤモンドの用途によって使い分けられます。

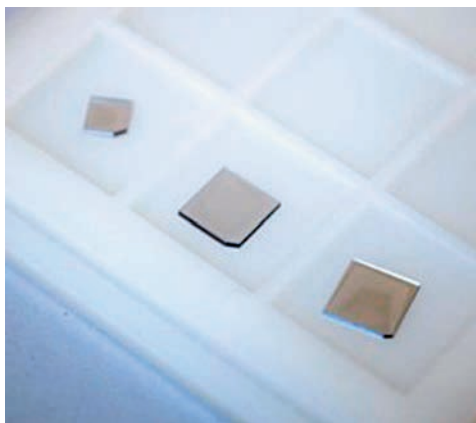


写真1. 人工ダイヤモンド基板

3、パワー半導体

半導体といえばパソコンのCPU

やメモリが最初に思い浮かぶかと思いますが。半導体は電気をオン／オフするスイッチとして使えるので、この場合、オンとオフでデジタル信号の1と0を処理しています。一方、パワー半導体は大きな電力をオン／オフするスイッチの役割を果たします。電気自動車でアクセルに応じて加減速したり、発進時に大きなトルクを発生させたりといった制御ができるのは、パワー半導体がオン／オフすることでバッテリーからモーターに送る電力をコントロールしているからです。このような機能から、パワー半導体は電力を制御する電子部品として、小さなものはパソコンや家電、大きなものは自動車や電車、発電・送電設備など、電気を扱うあらゆる場所で使われています。従来の電気機器にパワー半導体を導入することで、電力の利用効率は格段に上がりました。よく耳にする「インバータ・エアコン」にはパワー半導体が使われています。インバータなしのエアコンと比較すると、インバータ搭載エアコンは60%近い省エネ効果があり、電力消費量が減るということは発電で出るCO₂排出の

削減につながります。世界で見るとインバータ・エアコンの普及率はまだまだ低く、パワー半導体を使った機器を普及させることはエネルギー不足や環境問題の解決に貢献できます。

4、ダイヤモンド・パワー半導体

話をダイヤモンドに戻します。ダイヤモンドを電子部品の材料として見ると、最近話題の炭化珪素（SiC）や窒化ガリウム（GaN）と同じワイドギャップ半導体に分類されます。一般的にワイドギャップ半導体は高い絶縁耐圧を持ち、ダイヤモンドの絶縁耐圧はシリコンの30倍以上、炭化珪素や窒化ガリウムと比べても2～5倍です。すなわち、ダイヤモンドを使えばシリコンと同じ耐圧のパワー半導体を計算上30分の1の薄さにするができます。パワー半導体の抵抗による電力ロスは厚さに依存するので、ダイヤモンドを使うと低損失のパワー半導体が実現できます。またパワー半導体は動作時に発熱するため、ヒートシンクなどの冷却用の部品と合わせて使われます。ダイヤモンドは非常に熱を伝えやす

い性質を持っており、ダイヤモンドでパワー半導体を作ると、周辺の冷却部品を小型化・軽量化できます。例えば電気自動車にダイヤモンド半導体を使うことで、半導体の低損失化と周辺部品の小型・軽量化により、走行距離を伸ばすことができます。

*絶縁破壊を起こさずに印加できる電圧。絶縁耐圧が高いほど同じ厚さの材料に高い電圧をかけることができる

5、研究紹介

私は超高耐圧ダイヤモンド・パワー半導体の実現を目指して研究を行っています。ダイヤモンドの持つパワー半導体材料として優れた性質は、高い電圧で利用した場合にそのメリットを最大限に活かれます。特に数十kVを超える耐圧の半導体素子では、他の材料よりも圧倒的な小型化・低損失化が可能です。この電圧領域のパワー半導体が開発されると長距離・大電力送電システムの構築が可能になり、大陸間をつなぐような大規模な電力ネットワークの構築が可能になります。ダイヤモンド・パワー半導体の高耐圧化のためには、ダイヤモンド薄膜の合成技術や素子にするためのプロセス技術、高耐圧化構造の設計な



写真2. CVD ダイヤモンド成膜装置

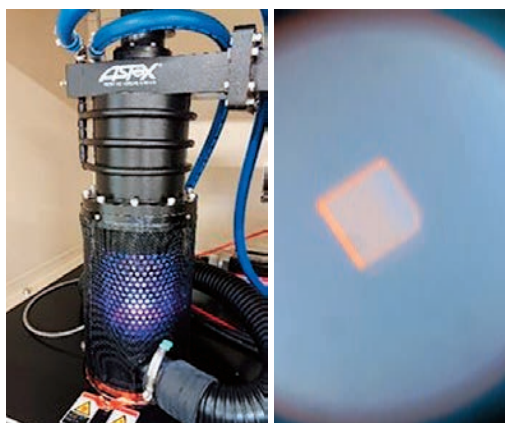


写真3. ダイヤモンド薄膜合成の様子

ど様々な課題があります。パワー半導体の作製には、不純物を含まないダイヤモンド薄膜とp型、n型の不純物を含む薄膜が必要です。本学の「次世代パワーエレクトロニクス研究センター」はそれぞれの型専用3台のダイヤモンド合成装置を有しており、これらの薄膜を制御良く合成することができ（写真2、3）。また、温度をコントロールしながら半導体の電気特性を計測できる「極限性能試験環境システム」などの評価設備も有しており、本学の優れた設備環境を活用しながら研究を進めています。

6、おわりに

古くから人々を魅了してきたダイヤモンドは、研究が進むにつれ新しい性質が次々と発見され、我々の生活に新たな技術をもたらしてくれました。新しい技術を生み出すためには新しい人材の参入が不可欠です。この記事を読んで私の研究に興味を持っていただき、ダイヤモンド・パワー半導体の研究に多くの人材が集まってくれることを願います。