

炭素で創る低炭素社会の実現 ～ダイヤモンド半導体パワーデバイス～

SATテクノロジー・ショーケース2015

■ ダイヤモンドと応用

ダイヤモンドと言えば、宝石を思い浮かべる人がほとんどであろう。実際に、ダイヤモンドは紀元前から人々を魅了しており、現在では婚約指輪としても人気が高い。近年、ダイヤモンドは、宝石ではなく、工業用途としても広く用いられている。例えば、研磨剤やドリルヘッド、人工衛星の外部観察用窓、ヒートシンクなどがその代表例だ。これら工業用ダイヤモンドの多くは、縁の下の力持ち的存在と言っても過言ではない。我々、(独)産業技術総合研究所のグループでは、同じ人工ダイヤモンドを、半導体として応用することを考えている。かつて、シリコン(Si)半導体が我々の生活を一変させたように、ダイヤモンド半導体(炭素)で低炭素社会の実現に貢献したい。

近年、原発の縮小、再生可能エネルギーの拡充という動きが、日本だけではなく、海外でも加速している。世界の全消費エネルギーに対する太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー割合が増加すれば、低炭素化には繋がるものの、太陽光や風力エネルギーは天候に左右されるため、電力供給の不安定問題が新たに露呈してくる。実際に、ドイツでは、大胆な再生可能エネルギー発電の導入を行ったことにより生じた電力供給の不安定さが、瞬間停電の回数増として顕著となっている。日本でも、電力会社の買電中止が起こるなど、電力供給の不安定さが露呈している。この問題解決のために提案されている一つが、スマートグリッドである。スマートグリッドとは、電力の流れを需要側、供給側の両方から情報で制御し、最適化する電力網のことであり、高効率で電力を変換、制御できるパワーデバイスや、高速に大容量の情報を扱うことのできる電子デバイスによるスマートグリッド全体の省電力化が求められている。

ダイヤモンド半導体は、絶縁破壊電界が高いことから、Si半導体が苦手な10 kV以上の超高耐圧領域でのスイッチング応用に期待されている。また、ダイヤモンド特有の負性電子親和力(Negative Electron Affinity: NEA)と呼ばれる、真空準位が半導体の伝導帯下端準位より低くなる性質を用いた電子放出源によって、究極の絶縁体である真空を絶縁層に使った真空パワースイッチとしての応用にも期待されている。我々のグループでは、二つの異なるアプローチで、ダイヤモンド半導体デバイスを低炭素社会の実現に貢献させようと、研究を行っている。本報告では、従来のSi半導体と同じパワーデバイス応用と、新しい真空パワースイッチ応用について紹介する。

■ 主な研究内容

1. 従来のパワーデバイス応用

スマートグリッドの考え方の中で、電力変換器は重要な役割を持っている。電力変換器を構成するのが、ダイオードやトランジスタといった半導体を用いたデバイスである。我々のグループでは、ダイヤモンド半導体を用いたpinダイオードやSchottky-pnダイオード、ショットキーバリアダイオード、pnptトランジスタ、Junction field effect transistor (JFET)、MOSFETなどの試作と評価を行っている。これらダイヤモンド半導体デバイスの特徴は、ダイヤモンド半導体の高い絶縁破壊電界や高い熱伝導率を活かした大電流・高耐圧をコンセプトにしているところである。低炭素社会実現のために、これらダイヤモンド半導体デバイスを用いたスイッチング回路の応用を目指す。

2. 新しい真空パワースイッチ応用

ダイヤモンド半導体は、従来のSi半導体では考えられないユニークな性質を有している。その一つが、NEAと呼ばれる負性電子親和力である。水素原子でダイヤモンド半導体表面を終端すると、電子が真空中に漏れ出る性質を利用し、電子放出源としての応用に期待している。電子放出源を用いることで、究極の絶縁体である真空を用いたスイッチ、すなわち、真空パワースイッチを作製することができる。実際に、我々のグループでは、ダイヤモンド電子放出源を用いた真空パワースイッチを作製し、10 kVのスイッチングに成功している。理論上は、100 kV以上の大電力を99.9%以上の効率でスイッチングすることが可能であり、低炭素社会の実現に大きく貢献できる。

■ ダイヤモンド半導体の重要課題

従来のパワーデバイス応用も新しい真空パワースイッチ応用も、ダイヤモンド半導体の特徴を生かすことのできるバイポーラデバイスが重要になると考えられる。ダイヤモンドバイポーラデバイスにおける重要課題の一つに、接触抵抗の低減が挙げられる。特に、n型用コンタクトが実現しておらず、n型接触抵抗低減が急務となっている。我々のグループでは、n型ダイヤモンド(炭素)の電極としてグラファイト(炭素)を用いることで、従来よりも一桁以上低いn型接触抵抗を実現することに成功した。しかしながら、必要とされるn型接触抵抗値には到達していない。このグラファイト電極をさらに改善して、デバイスも電極も炭素からなるオール炭素デバイスで低炭素社会を実現したい。

代表発表者 **松本 翼 (まつもと つばさ)**
 所 属 **(独)産業技術総合研究所
 エネルギー技術研究部門
 電力エネルギー基盤グループ
 兼 イノベーションスクール**
 問合せ先 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 第二
 TEL: 029-860-5054 FAX: 029-861-2773
 tsubasa.matsumoto@aist.go.jp

■キーワード: (1)ダイヤモンド
 (2)パワーデバイス
 (3)低炭素社会