

真空を利用したパワースイッチ

ダイヤモンド半導体を使うことにより世界で初めて成功



竹内 大輔

たけうち だいすけ
d.takeuchi@aist.go.jp

エネルギー技術研究部門
電力エネルギー基盤グループ
上級主任研究員
(つくばセンター)

ダイヤモンド半導体もつ、負の電子親和力など他の半導体材料にはない新しい物性を解明するとともに、ダイヤモンド半導体特有の物性を応用した新しい電子デバイス、特に真空パワースイッチなど革新的なパワーデバイスの創出を目指しています。

関連情報：

- 共同研究者

小泉 聡 (物質・材料研究機構)、八井 崇 (東京大学)、牧野 俊晴、加藤 宙光、小倉 政彦、大串 秀世、大橋 弘通、山崎 聡 (産総研)

- 参考文献

D. Takeuchi *et al.*: *IEDM*, 7-6 (2012).

- 用語説明

*スマートグリッド：効率的なエネルギー利用のために情報・通信技術 (IT) とともに、パワースイッチや蓄電技術を駆使して構成される新しい電力網のこと。

- プレス発表

2012年12月10日「真空を利用したパワースイッチを開発」

●この研究開発の一部は、JST 戦略的創造研究推進事業 先進的低炭素化技術開発 (ALCA)、および JST 戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CREST) の支援を受けて行っています。

真空パワースイッチへの期待

洋上風力エネルギーなど再生可能エネルギーや電力融通可能なスマートグリッド*構想を基幹電力システムに導入するには、超高電圧直流電力を自在に扱えるパワースイッチが必要です。しかし、これまで開発されてきたシリコンなどを用いたパワースイッチは、高電圧に耐えられるようにすると電力変換装置が巨大になってしまうという問題がありました。そのため、固体である半導体よりもさらに絶縁耐圧に優れる真空を利用した革新的な超高耐圧高効率小型パワースイッチの開発が期待されています。

ダイヤモンドを素材とした電子放出源

真空をパワースイッチに利用するには、真空中に高効率かつ低電圧で大電流を流すための理想的な電子放出源を実現する材料が必要です。これまでの真空管の電子放出源であるフィラメントは、大電流を素早くオン・オフすると切れてしまい、信頼性、効率、応答性の面から、真空パワースイッチに使用することはできません。私たちはこの問題を解決するために、真空への電子放出源の材料にダイヤモンド半導体を採用しました。

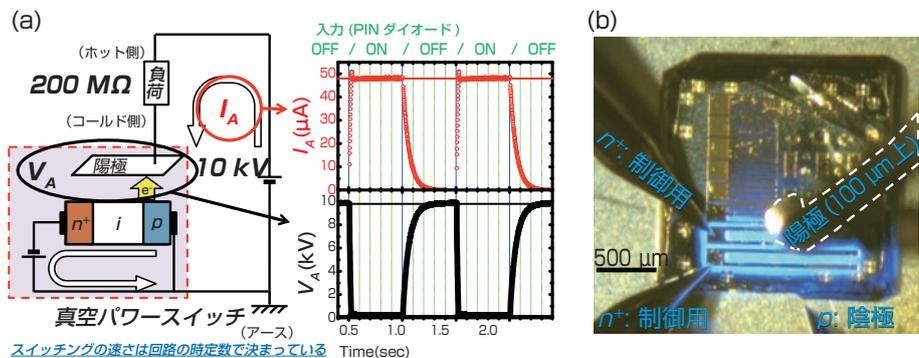
まず、光を照射して出てくる電子放出の基礎実験から、ダイヤモンドの表面を水素原子で覆うと、外の真空よりもダイヤモンド中の自由電子のエネルギー位置が高くなり、真空中に自由

に電子が飛び出す「負の電子親和力」をもつ面となることを実証しました。

同時に共同研究者の小泉らは、水素で覆ったpn接合形のダイヤモンドダイオードを作製し、負の電子親和力を反映して、ダイオードをオンにすると電子放出が起こる現象を発見しました。そこで私たちは、室温で電流を増やすために、リンを高濃度に添加したn⁺層と、不純物の混入を極力低くした真性形のi層を入れたpin接合形のダイオードを開発し、真空パワースイッチとしての検証を図のような回路を用いて行いました。ダイオードがオフであれば、真空は絶縁体として働き、真空パワースイッチはオフ状態となって、陽極電圧は10 kVで全く電流は流れません。一方、ダイオードに電圧をかけてオンにすると、真空中に電子放出電流が流れてスイッチがオン状態になり、負荷抵抗にはほぼ10 kVがかかる状態が確認できました。結果として、効率70%以上の真空パワースイッチとしての動作を世界で初めて確認できました。

今後の予定

今後は、さらに真空パワースイッチの特性を向上させて絶縁耐圧性や電力伝達可能性などにおける優位性を確認し、従来の10分の1以下のサイズの超高耐圧高効率小型パワースイッチの具体的な実用化へつなげていきます。



真空パワースイッチの電子放出特性 (a) と動作の様子 (b)