

ダイヤモンドバイポーラトランジスタの開発

省エネに大きく貢献する超低損失パワーデバイスの実現に道



山崎 聡

やまさき さとし
s-yamasaki@aist.go.jp

エネルギー技術研究部門
主幹研究員
(兼) 電力エネルギー基盤グループ付
(つくばセンター)

電力エネルギー基盤グループでは、ダイヤモンド半導体の持つすばらしい性質、ユニークな性質を用い、高耐圧用超低損失パワーデバイスの開発を、産学官の共同研究のもと進めています。

関連情報：

- 用語説明

[1] バンド伝導：キャリア（電子または正孔）がとどまることなく半導体中を流れること。

[2] ホッピング伝導：有機分子など非晶質構造で、キャリアが個々の分子間・原子間を飛び跳ねるように伝わっていくこと。

- プレス発表

2011年9月2日「世界初の電力増幅作用を持つダイヤモンドトランジスタ」

● この研究開発は、独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST)「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」の「超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築 (研究代表者: 山崎 聡)」の委託を受け、一部は独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 産業技術研究助成事業 (若手研究 Grant)「大電力密度電子デバイスの実現に向けた n 型ダイヤモンド半導体の低抵抗化ならびにオーミック接合技術の開発」の助成を受けて行っています。

パワーデバイスの現状

省エネによって二酸化炭素の排出を抑制するためには、電力をコントロールするパワーデバイスを高効率化することが大きな要素となっています。高性能パワーデバイスのための新しい半導体材料として、絶縁耐圧や熱伝導率に優れたシリコンカーバイド (SiC) や窒化ガリウム (GaN) が開発され、現在主流であるシリコン半導体との置き換えが図られています。ダイヤモンドは SiC や GaN よりもさらに絶縁耐圧や熱伝導率に優れていることから、ダイヤモンドによる革新的な省エネ超低損失パワーデバイスの創出が期待されています。

ダイヤモンドバイポーラトランジスタの開発

ダイヤモンドは電気抵抗が大きく、絶縁体に近い半導体です。一般的に半導体デバイスには、p 型と n 型の両方の半導体が必要で、ダイヤモンドでも p 型と n 型の半導体を作製できるようになっていました。しかし、ダイヤモンドの誘電率が他の半導体材料に比べ小さいために、動き回れる電子や正孔の量が少なく、流れる電流はわずかでした。

この欠点を補うため、私たちは非常に高密度の不純物を添加し、しかも欠陥の発生を極力抑えた低抵抗ダイヤモンド薄膜を作製することに成功しました。不純物を高濃度に添加したダイヤモンドでは電子や正孔が移動することで電流が流れますが、その電子や正孔の移動の機構は

一般の電子デバイスに見られるバンド伝導^[1]と呼ばれる機構ではなく、ホッピング伝導^[2]と呼ばれる機構です。ダイヤモンドパワーデバイス開発には、ホッピング伝導とバンド伝導を巧妙に組み合わせるといふ工夫が必要になってきます。今回開発したバイポーラトランジスタは、高濃度不純物層である p⁺ 層と n⁺ 層、不純物をほとんど含まないイントリシック層 (i 層) に加えて、リンの濃度をコントロールした n 層を使い、デバイス構造を工夫することによって作製したものです (図 1)。

図 2 にこのトランジスタによる電流増幅を測定した結果を示します。これまでもダイヤモンド半導体を用いたバイポーラトランジスタを作製した例はありましたが、有意な電流増幅は確認されていませんでした。今回、私たちが開発したトランジスタでは、入力に対応するベース電流の変化に対して、出力となるコレクター電流の変化が 10 倍程度となり、電流の増幅率が 10 を超えることが確認できました。

今後の予定

スマートグリッドにおける利用などダイヤモンドパワーデバイスの活躍の場を明確にし、絶縁耐圧や電流密度などの優位性を確認することにより、現在、産総研を中心に産学官共同で行っているダイヤモンドパワーデバイスの研究開発を加速し、発展させていく予定です。

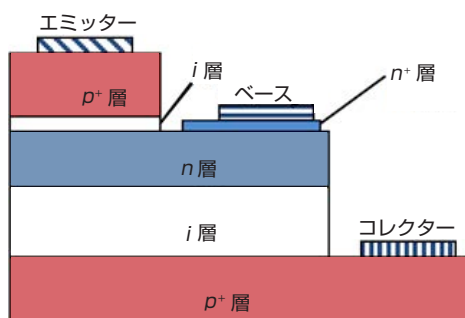


図 1 ダイヤモンドバイポーラトランジスタの模式図

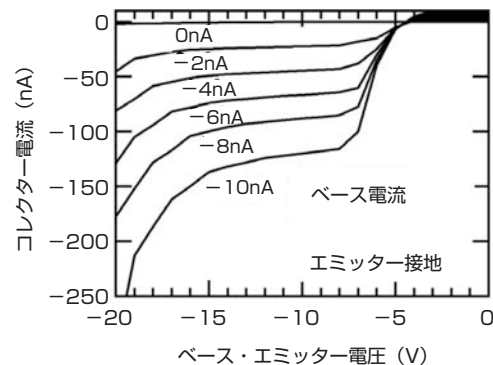


図 2 開発したダイヤモンドトランジスタの電流電圧特性
入力のベース電流に対して、およそ 10 倍の出力となるコレクター電流を得ることができている。