

山崎 聡

(独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 主幹研究員

超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築

§ 1. 研究実施体制

(1)「山崎」グループ

① 研究代表者: 山崎 聡 ((独)産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門、主幹研究員)

② 研究項目

1) ダイヤモンド半導体基盤研究

1) - 1. ダイヤモンド製膜技術開発と物性研究

1) - 2. 界面制御・解析技術開発

2) 新構造パワーデバイスの作製・解析とデバイス物理の構築

2) - 1. デバイス作製技術開発

2) - 2. 新しい物性を取り込んだデバイス物理の構築

2) - 3. 新構造パワーデバイスの提案

§ 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

平成 23 年度は、本課題 2 年目に当たり、研究を進めるとともに、次年度以降の円滑な研究遂行のための装置・スペース・人員の整備を行った。また、本提案の重要な要素である外部との共同研究体制の構築を進めた。

研究トピックス: バイポーラトランジスタの作製に成功

ダイヤモンドには、半導体材料として最も高い絶縁耐圧と最も高い熱伝導率という非常に優れた特長がある。高電圧をかけても壊れず、また大電流を流したときに発生するジュール熱を効率的に逃がすことができる。その一方、一般的には電気抵抗が非常に大きな、絶縁体に近い半導体であり、そのため大電流を流すことができないことが、ダイヤモンドをパワーデバイスとして利用する上で大きな課題となっている。これまでに、品質の劣化を極力押さえつつ高濃度の不純物を添加

した低抵抗ダイヤモンド薄膜の作製に成功し、この低抵抗ダイヤモンド薄膜を用い、さらにダイヤモンド固有の性質を活かすことで、従来のパワーデバイスとは原理的に異なる超低損失パワーデバイスを提案している。今年度、この低抵抗ダイヤモンド薄膜を用い、デバイス作製プロセスを工夫することにより、世界で初めて、電力増幅が可能なバイポーラトランジスタの作製に成功した。

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くる。これまで高濃度にホウ素を添加した p+層と高濃度にリンを添加した n+層の間に、不純物の混入を極力低くしたイントリシック層 (i 層) を入れたダイオードを作製した。このダイオードでは、 $10,000 \text{ A/cm}^2$ を超えるという大きな電流密度を実現することができ、また、逆方向に電圧をかけても電流が流れない良好な半導体特性を確かめた。

開発したバイポーラトランジスタは、前回のダイオードよりもさらに巧みにホッピング伝導とバンド伝導を組み合わせることによって実現できた。開発したバイポーラトランジスタの模式図を図1に示した。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 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ある。

図2にこのトランジスタによる電力増幅を測定した結果を示す。トランジスタの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た。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ったが、有意な電力増幅は確認されていなかった。

今後、電流密度を増やすなど、さらに特性を向上させる必要があるが、ダイヤモンド半導体でも室温でバイポーラ動作によるトランジスタが実現できたことは、ダイヤモンドの優れた物性を活かした高性能パワーデバイス実現への第一歩となると考えている。

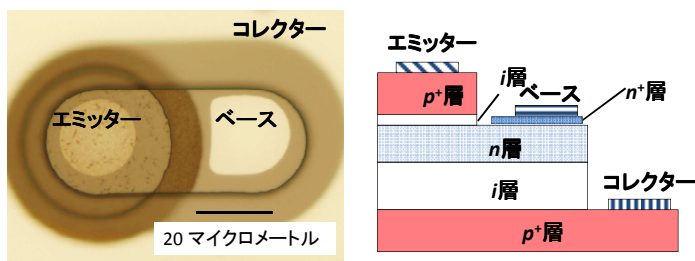


図1. (左)ダイヤモンドバイポーラトランジスタの実物写真
(右)ダイヤモンドバイポーラトランジスタの模式図

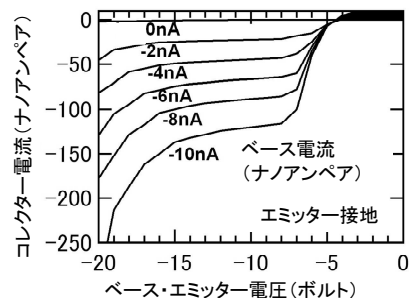


図2. 入力のベース電流に対して、およそ10倍の出力となるコレクター電流を得ることができている。

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

- 1) Hiromitsu Kato, J. Barjon, N. Habka, Tsubasa Matsumoto, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Energy level of compensator states in (001) phosphorus-doped diamond”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol.20, No.7, P.1016-1019, 2011 05 (10.1016/j.diamond.2011.05.021)

- 2) Daisuke Takeuchi, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Norio Tokuda, Kazuhiro Oyama, Tsubasa Matsumoto, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electron emission from CVD diamond p-i-n junctions with negative electron affinity during room temperature operation”, DIAMOND AND RELATED MATERIALS, Vol. 20, No.7, P.917-921, 2011 06 (10.1016/j.diamond.2011.05.009)

- 3) Daisuke Takeuchi, Hiromitsu Kato, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Electron emission from diamond p-i-n junction diode with heavily P-doped top layer”, PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE, Vol.208, No.9, P.2073-2078, 2011 08 (10.1002/pssa.201100140)

- 4) Makino Toshiharu, Kiyoshi Yoshino, Norihiro Sakai, Koji Uchida, Satoshi Koizumi, Hiromitsu Kato, Daisuke Takeuchi, Masahiko Ogura, Kazuhiro Oyama, Tsubasa Matsumoto, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, “Enhancement in Emission Efficiency of Diamond Deep-Ultraviolet Light-Emitting Diode”, APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.99, P.061110, 2011 08 (10.1063/1.3625943)

(3-2) 知財出願

- ① 平成 23 年度特許出願件数(国内 2 件)

- ② CREST 研究期間累積件数(国内 2 件)