

山崎 聡

(独)産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門  
総括研究主幹

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、総括研究主幹)

#### 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)「小泉」グループ

① 研究分担グループ長: 小泉 聡 ((独)物質・材料研究機構、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

### (3)「波多野」グループ

① 研究分担グループ長: 波多野 睦子 (東京工業大学、教授)

#### ② 研究項目

- 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

(4)「斎藤」グループ

①研究分担グループ長: 斎藤 丈靖(大阪府立大学、准教授)

②研究項目

1) ダイヤモンド半導体基盤研究

1)－2. 界面制御・解析技術開発

(5)「徳田」グループ

①研究分担グループ長: 徳田 則夫(金沢大学、准教授)

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

## § 2. 研究実施の概要

二酸化炭素排出抑制に大きな効果を持つ、新概念の超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築を行う。その候補として、特異な物性を持つダイヤモンド半導体を取り上げる。超低損失パワーデバイス実現に必要なダイヤモンド特有の物性の物理的理解、その物性を利用した新しいデバイス物理の構築、材料プロセス・デバイス作製プロセスの問題点の抽出とその解決策の検討を総合的に行い、超低損失パワーデバイスを提案・試作し、実用化への道筋をつける。

本課題4年目にあたる平成25年度は、産総研、東工大、物材機構、阪府大に加え、金沢大学を加えた陣容で研究にあたった。産総研・物材機構のつくばを中心に、試料作成、デバイス作製を行い。一部を東工大・阪府大・金沢大で行った。また、産総研外来研究員として、東芝、大阪大学の協力を得た。

研究トピックス：

### 新構造デバイスの展開

得られた新構造デバイスである、 $p^+i-n^+$ ダイオードやショットキーpnダイオードの詳細についての研究を進めた。 $p^+i-n^+$ ダイオードの電流電圧特性の温度依存性を測定し、パワーデバイスで問題となる大きな温度依存性が、ホッピング伝導を利用しているために小さいことを実証し、 $p^+i-n^+$ ダイオードの有効性を明らかにした。また、新構造ショットキーpnダイオードでは各層の最適化を図ることにより、パワーデバイスとしての損失に直結するオン抵抗の値を下げることに成功し、また、スイッチング速度も10ナノ秒以下であることを示すことができた。

### パワーデバイス特性改善のための要素技術の開発

#### ダイヤモンドパワーデバイスの構造高品質化

ダイヤモンドパワーデバイス作製においてはダイヤモンド特有の成長モードなどを利用する必要がある。特に、選択成長技術はキーとなる技術である。電子顕微鏡などで構造解析を行い、選択成長時の欠陥発生の様子を観察し、構造最適化のための指針を得た。また、ダイヤモンド薄膜の欠陥と電気的な特性との相関を得ることができた。これらにより、今後の高品質化のための重要な情報を得ることができた。

#### n型ダイヤモンドの接触抵抗低減化技術

ダイヤモンドパワーデバイスの大きな課題の一つとしてn型ダイヤモンドと金属との接触抵抗が大きな点が挙げられる。チームでは高濃度リンドーピングを使うことにより大きな改善をもたらしたが、さらなる低減が必要である。今年度はグラファイトを利用することによりこれまでの接触抵抗を一桁以上改善することに成功した。また、p型ダイヤモンド接触抵抗についても改善した。

### § 3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### 論文詳細情報(国内)

なし

##### 論文詳細情報(国際)

- 1) Hiromitsu Kato, Jan Jakob Hees, Rene Hoffman, Marco Wolfer, Nianjun Yang, Satoshi Yamasaki and Christoph Nebel, “Diamond foam electrodes for electrochemical applications”, ELECTROCHEMISTRY COMMUNICATIONS, vol. 33, pp.88-91, 2013(DOI:10.1016)
- 2) Takayuki Iwasaki, Yuto Hoshino, Kohei Tsuzuki, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, and Mutsuko Hatano, “High-Temperature Operation of Diamond Junction Field-Effect Transistors With Lateral p-n Junctions”, IEEE Electron Device Lettets, vol. 34, No. 9, pp.1175-1177, 2013 (DOI:10.1109/LED.2013.2271377)
- 3) Mariko Suzuki, Toshiharu Makino, Hiromitsu Kato, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi and Satoshi Yamasaki, “Electrical characterization of diamond PiN diodes for high voltage applications”, PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE, vol. 210, No.10, pp.2035-2039, 2013(DOI: 10.1002/pssa.201300051)
- 4) Norio Tokuda, Makoto Fukui, Toshiharu Makino, Daisuke Takeuchi, Satoshi Yamasaki, and Takao Inokuma, “Formation of Graphene-on-Diamond Structure by Graphitization of Atomically Flat Diamond (111) Surface”, Jpn. J. Appl. Phys. Selected Topics in Applied Physics Vol. 52, 110121, 2013 (DOI: 10.7567/JJAP.52.110121)
- 5) Tsubasa Matsumoto, Hiromitsu Kato, Norio Tokuda, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi and Satoshi Yamasaki, “Reduction of n-type diamond contact resistance by graphite electrode”, PHYSICA STATUS SOLIDI-RAPID RESEARCH LETTERS, vol. 8, No.2, pp.137-140,2014 (DOI: 10.1002/pssr.201308252)
- 6) Takayuki Iwasaki, Junya Yaita, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Daisuke Takeuchi, Hideyo Okushi, Satoshi Yamasaki, and Mutsuko Hatano, “600 V Diamond Junction Field-Effect Transistors Operated at 200 ° C”, IEEE Electron Device Lettets, vol. 35, No. 2, pp.241-243, 2014 (DOI:10.1109/LED.2013.2294969)

- 7) Norio Tokuda, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, and Takao Inokuma, “Anisotropic lateral growth of homoepitaxial diamond (111) films by plasma-enhanced chemical vapor deposition”, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 53, 04EH04, 2014 (DOI: 10.7567/JJAP.53.04EH04)
- 8) Kazuki Sato, Takayuki Iwasaki, Yuto Hoshino, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, Shinichi Nakamura, Kimiyoshi Ichikawa, Atsuhito Sawabe, and Mutsuko Hatano, “Analysis of Selective Growth of n-Type Diamond in Lateral p-n Junction Diodes by Cross-Sectional Transmission Electron Microscopy”, Japanese Journal of Applied Physics. (in press).

### (3-2) 知財出願

- ①平成 25 年度特許出願件数(国内 4 件)
- ②CREST 研究期間累積件数(国内 9 件)