

(様式第 5 号)

超高濃度ドーパ低抵抗ダイヤモンド薄膜の X 線吸収端近傍微細構造解析 (III)

Near-edge X-ray absorption structural study of heavily doped diamond thin films

大曲 新矢
Shinya Ohmagari

(国研) 産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター
Advanced Power Electronics Research Center,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

- ※ 1 先端創生利用 (長期タイプ, 長期トライアルユース, 長期産学連携ユース) 課題は, 実施課題名の末尾に期を表す (I), (II), (III) を追記してください。
- ※ 2 利用情報の公開が必要な課題は, 本利用報告書とは別に利用年度終了後 2 年以内に研究成果公開 {論文 (査読付) の発表又は研究センターの研究成果公報で公表} が必要です. (トライアルユース, 及び産学連携ユースを除く)

1. 概要 (注: 結論を含めて下さい)

ダイヤモンド超低損失パワーデバイス応用に向け, 低抵抗ダイヤモンドウェハ開発に取り組んでいる. 近年我々は, 熱フィラメント(HF) CVD 法を用いた高濃度ホウ素ドーパダイヤモンド成長において, 1 mΩcm 級の低抵抗化が可能であることを見出した. 本課題では, 低抵抗化の起源を明らかにすべく, X 線吸収端近傍微細構造 (NEXAFS) 解析による化学結合状態の評価をおこなっている. 前回までの C-Kedge 測定で, リファレンス試料である高温高圧合成結晶においてホウ素クラスターに起因する準位が確認された. 対して, HFCVD 合成試料ではそれらに起因するピークは観測されず, 理想的に置換原子位置にホウ素が取り込まれていることが示唆された. 今回は B の結合状態の詳細を探るために, B-Kedge を評価した.

(English)

Diamond semiconductors are candidate materials for next-generation ultra-low-loss power devices. For high output power applications, low-resistivity diamond wafers are necessary, which pave the way to fabricate vertical-type power devices. Recently, we have succeeded to prepare low-resistivity (1 mΩcm order) diamond by hot-filament (HF) CVD with heavily boron-doping. In this study, to investigate the chemical bonding configurations, near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) measurements have been performed. From C-Kedge spectra, peaks due to B-related clusters were detected for HPHT-grown boron-doped diamond, while these peaks were not detected for HFCVD-grown one. These results suggest that boron atoms are likely to be incorporated into substitutional site. In this measurement, to further understanding the bonding configuration of boron, B-Kedge spectra were measured.

2. 背景と目的

ダイヤモンドは, 高い絶縁破壊電界 (> 10 MV/cm), 高速移動度 (電子: 7300 cm²/Vs, 正孔: 5300 cm²/Vs), 物質中最高の熱伝導率 (22 W/cmK) を有しており, 高温・極限環境でも安定動作する次世代のパワー半導体材料として期待されている. 100-A級駆動が可能な縦型素子構造では, 寄生抵抗成分 (ウェハ抵抗+金属接触抵抗) を極限まで低減することが必要となり, 低抵抗ウェハが用いられる. ダイヤモンドは高濃度ホウ素ドーパによる低抵抗化が可能であるが, 10²⁰cm⁻³を超えるドーピングに関しては, 転位の増大およびドーパント不純物の偏在により結晶品質が著しく低下するという問題があった. さらに, 主流の合成手法であるマイクロ波プラズマCVD法を用いた高濃

度ドーピングでは、チャンバー内に煤が発生し、長時間合成による厚膜化が困難という課題を有していた。熱フィラメント (HF) CVD法は多結晶成膜用として広く使われてきたが、単結晶 (特に半導体グレード) の応用例は皆無であった。我々は成長パラメータの緻密制御および基板の前処理を工夫し高品質単結晶の合成に成功した。また、高濃度ドーピング環境においても煤の発生がないことから低抵抗ウエハ作製に優位性があることを見出し、研究を行ってきた。これまでに (1) 気層中から膜中への取り込み効率は約100%であり、高効率ドーピングが可能で、(2) $5E19 \sim 1E21 \text{ cm}^{-3}$ の高濃度ドーブが可能で、世界最高レベルの低抵抗化 $1 \text{ m}\Omega\text{cm}$ (@室温) が実現できることを実証した。電気特性と分光学解析の結果から、ドーパント (ホウ素) 原子は置換サイトに位置し、電気的に活性であることを予測しているが、確たる証拠は得られていない。本課題によりC1s, B1sのNEXAFS解析から詳細な結合様式を明らかとし、ドーパントサイトに関する知見を得ることを目的としている。

前回までの測定で、C-Kedgeスペクトルにおいて、高温高压法で合成されたリファレンス試料ではホウ素クラスターに起因した準位が発現することを明らかとした。対して、HFCVD合成試料ではそれらに起因するピークは認められず、理想的に置換原子サイトにホウ素が取り込まれていることを示唆する結果を得た。今回はB結合状態の詳細を探るために、B-Kedgeスペクトルを測定した。

3. 実験内容 (試料, 実験方法, 解析方法の説明)

HFCVD法により高濃度ホウ素ドーブ試料を作製した。基板には(100)単結晶を用い、ホモエピタキシャル成長させた。ホウ素ドーブ量は $>10^{20} \text{ cm}^{-3}$ であった。NEXAFS B-KedgeスペクトルをSAGA-LS BL12で、電子収量 (TEY) および蛍光 (FY) 法で測定した。測定条件は

スキャン範囲 Photon energy 170 ~ 220 eV

入射ビームスリット $50 \times 50 (\mu\text{m}^2)$

であった。

4. 実験結果と考察

図1に高濃度ホウ素ドーブダイヤモンド結晶のNEXAFS B-Kedge スペクトルを示す。スペクトルのバックグラウンド補正は行っていない。FY, TEY法でのスペクトルを同時に測定した。185 eV近傍のシャープなピークおよび192 eV以降のブロードなピークが確認された。FY法ではTEY法と比べてより明確なスペクトルが得られているが、今回の測定試料では、解析に十分なS/Nは得られなかった。低いホウ素ドーブ量 (ダイヤモンド原子密度換算で0.06%) が原因と考えられる。185 eVピークはB-acceptorに起因とされており、ダイヤモンド格子中の置換原子位置にドーブされたホウ素によると考えられる。今後、系統的にホウ素量を変化させることにより、詳細な考察を行っていく予定である。

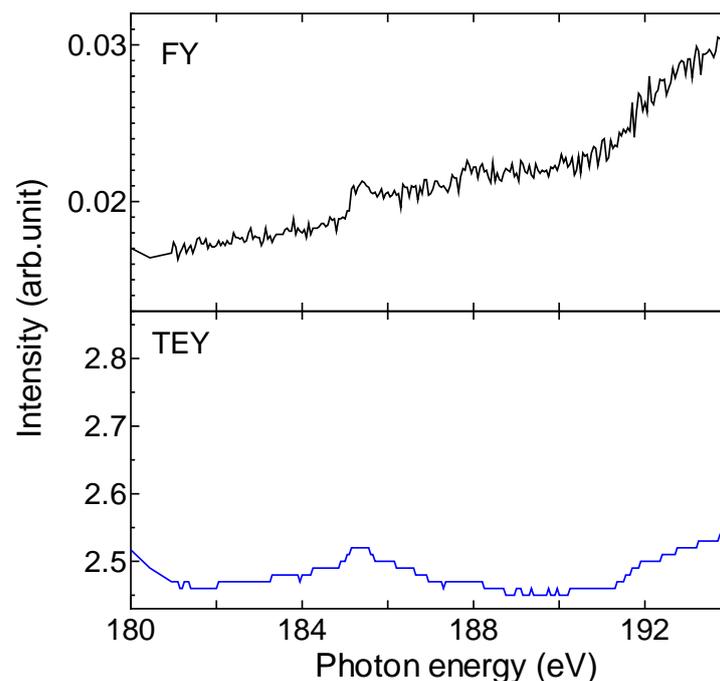


図1. 高濃度ホウ素ドーブダイヤモンド膜のNEXAFS B-Kedge スペクトル。蛍光 (FY) 法および全電子収量 (TEY) 法の同時測定をおこなった。ホウ素ドーブ量は $>10^{20} \text{ cm}^{-3}$ (ダイヤモンド原子密度換算

で 0.06% ドープに相当) であった.

5. 今後の課題

より高濃度の試料を準備し, 再測定をおこなう予定である.

6. 参考文献

S. Ohmagari, K. Srimongkon, H. Yamada, H. Umezawa, N. Tsubouchi, A. Chayahara, S. Shikata, and Y. Mokuno, *Diamond and Related Materials*, 58 (2015) 110-114.

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果) 準備中

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を 2~3) ダイヤモンド, パワーデバイス, 低抵抗コンタクト

9. 研究成果公開について (注: ※2 に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください. また, 論文 (査読付) 発表と研究センターへの報告, または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください (2015 年度実施課題は 2017 年度末が期限となります.)
長期タイプ課題は, ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください.

① 論文 (査読付) 発表の報告 (報告時期: 2016 年 12 月)