

高温環境下におけるダイヤモンド放射線検出器の動作特性評価

Performance test of diamond radiation detectors under high-temperature environment

北大院工¹、日立製作所²、産総研³、物材機構⁴ ○金子純一¹、坪田雅功¹、宮崎大二郎¹、上野克宜²、
田所孝広²、茶谷原昭義³、梅沢仁³、渡邊幸志³、小泉均¹、桑原均²、鹿田真一³、小泉聡⁴

Hokkaido Univ.¹, Hitachi², AIST³, NIMS⁴ ○Junichi H. Kaneko¹, Masakatsu Tsubota¹,
Daijiro Miyazaki¹, Katsunori Ueno², Takahiro Tadokoro², Akiyoshi Chayahara³, Hitoshi Umezawa³,
Hideyuki Watanabe³, Hitoshi Kuwabara², Hitoshi Koizumi¹, Shinichi Shikata³, Satoshi Koizumi⁴

E-mail: hikedon@eng.hokudai.ac.jp

1. はじめに 福島第一原子力発電所事故において想定を超えた過酷環境が出現し、核・プロセス計装機器の大半が使用不能となった。原子炉規制法の改正が必要となり設計基準の変更準備が進められている。原子炉格納容器内使用機器のうち原子炉格納容器内雰囲気モニタ(CAMS)用 γ 線検出器に対しては、暫定値として最高使用温度:300°C(72時間)、積算線量:5MGy、測定レンジ: 10^{-2} ~ 10^5 Sv/hが要求される。この要求を満たすため、北海道大学、物質材料研究機構、産業技術総合研究所、日立製作所が共同してダイヤモンド放射線検出器ならびにダイヤモンド電界効果トランジスタの開発を進めている。

γ 線計測用ダイヤモンド放射線検出器は広いダイナミックレンジが必要となることから低線量並びに高線量域用検出器2台でカバーする事を予定している。本発表では北海道大学が主として担当する低線量域用検出器開発の一環として行ったダイヤモンド放射線検出器の高温環境での動作評価について報告する。

2. 結晶合成と検出器 オフ角制御済み 5×5 mm程度の高圧高温合成(HP/HT) IIa型ダイヤモンド基板(001)面上に、基板温度: 850度、ガス圧力: 110 Torr、メタン濃度: 1%の条件で結晶合成を行った。合成時間は72時間、成長層厚さ $100 \mu\text{m}$ 程度である。比較用試料として電荷キャリア輸送特性に優れた寸法 $3 \times 3 \times 0.5$ mmのエレメントシックス社(E6)製エレクトロニクスグレードCVD単結晶と $5 \times 5 \times 0.5$ mmのダイヤモンドディテクター社(DDL, 2012年倒産)製CVD単結晶検出器から取り出したCVD単結晶ダイヤモンドを使用した。E6社によればDDL製ダイヤモンドはE6製エレクトロニクスグレードと同一合成条件で合成されている。各結晶の両面にRu-Ti/Pt電極を蒸着法により製作し検出器化した。真空容器中でヒーターにより検出器を加熱し、 ^{241}Am からの5.5MeV α 線を入射させ電荷収集効率の変化を測定した。

3. 実験結果 図1に北大製ダイヤモンドの電荷収集効率の温度による変化を示す。5.5MeV α 線のダイヤモンド中の飛程が $14 \mu\text{m}$ であり、電子、正孔それぞれの検出器中での走行距離に比例して出力信号が形成されることを利用して2つの電荷キャリアの輸送特性を評価した。この検出器は室温で直線的なI-V特性を示すが、温度上昇に伴い整流特性が顕著になった。評価装置の都合上、 α 粒子の入射方向を変えることが出来なかったため、電子の測定では漏れ電流の多い不利な条件で測定を行っている。正孔に関しては55°Cでわずかではあるが電荷収集効率の改善がみられる。その後、200°Cでも電荷収集効率が97%まで下がるが計測可能であった。一方、電子に対しては55°Cを過ぎた後電荷捕獲が顕著になった。

E6製検出器については2個の検出器を使用して評価を行ったが、電子、正孔共に55°Cを超えたところから電荷捕獲が顕著となり100°Cでは全く計測不能となった。DDLの結晶から作製した検出器は最も性能が良く250°Cで電子、正孔共動作した。300°Cでも電子については明確なピークを得たが、それ以上の温度で計測は不可能であった。北大製試料については当初窒素の影響を考えていたが、他の捕獲準位の存在が分かっており、高温動作特性の改善にはこの低減が必須となる。

本研究は原子力システム研究開発「過酷事故対応を目指した原子炉用ダイヤモンド半導体デバイスの開発」として行われたものです。

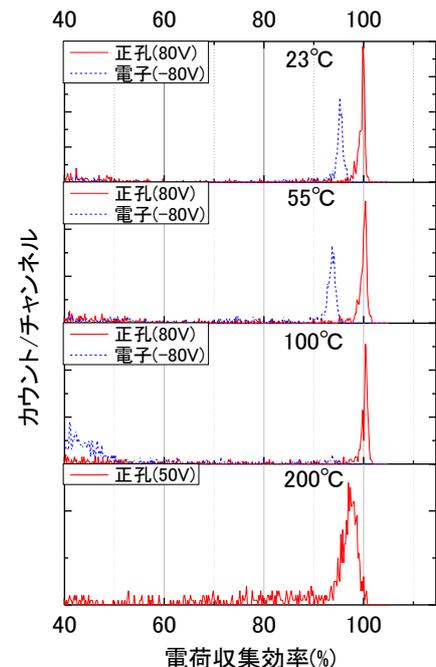


図 北大製ダイヤモンドの電荷収集効率の温度による変化