HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	単結晶CVDダイヤモンド放射線検出器の大型化に向けた基板欠陥の影響評価と検出器応用［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	平野, 慎太郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14439号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81386
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hirano_Shintaro_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　平野　慎太郎

審査担当者　主　査　准教授　金子 純一
副　査　教　授　澤 和弘
副　査　教　授　柴山 環樹

学位論文題名

単結晶 CVD ダイヤモンド放射線検出器の大型化に向けた基板欠陥の影響評価と検出器応用
(Substrate effects on charge carrier transport properties for large single-crystal CVD diamond detector and detector applications)

単結晶ダイヤモンド放射線検出器は高速応答性、耐放射線性、可視光不感など優れた特長を持つことから原子力、加速器、宇宙など過酷環境での応用が期待される。

原子力分野では福島原子力発電所事故の後、原子炉格納容器内設置機器に対する耐放射線、高温動作性能の要求が非常に厳しくなった。また福島第一原子力発電所廃炉事業ではデブリ取り出し時に使用する臨界近接モニタとして 1,000 Gy/h と非常に高い高線量率 γ 線環境下で数 cps/nv 程度の熱中性子検出効率をもつ検出器が必要とされている。また蛍光 X 線分析の分野では検出器冷却機構の除外と大面積化による検出効率の向上が求められる。

このようにダイヤモンド放射線検出器には広い分野で応用が期待され、さらに検出器グレード大面積ダイヤモンド結晶が実現されれば、ダイヤモンド結晶の価格の低下や性能の均一性も向上する。現在、欧州の人工ダイヤモンド製造・販売企業から検出器グレードのダイヤモンド単結晶が販売されており、広く使われている。しかし大きさが 5 mm 角程度に制限されることや 220 ℃以上では電荷捕獲により波高値が低下することから応用が制限されている。

この制限を打破するため、北海道大学ではこれまで検出器用ダイヤモンド単結晶の合成を進め、高圧高温合成 (HP/HT) IIa 型基板を使用し、基板の再利用可能なダイレクトウエハ法を用いてきた。検出器の大面積化を進めるためには、従来使用して来た HP/HT IIa 型基板よりも大型の単結晶基板が入手可能な HP/HT Ib 型基板、CVD 基板、ヘテロエピタキシャル成長基板などの利用を考える必要があった。本論文では単結晶 CVD ダイヤモンド放射線検出器の大面積化を目指した基板欠陥影響の評価とダイヤモンド検出器の応用研究について報告する。

本論文は全 6 章で構成されている

第 1 章では単結晶ダイヤモンド放射線検出器の諸特性に触れつつ、その特長を明らかにする。また試料作製に使用したマイクロ波プラズマ CVD 法の説明、検出器の性能評価に使用した α 線による誘導電荷量分布測定、検出器作製プロセスを紹介する。

第 2 章では検出器大型化に向けた基板欠陥影響の評価について報告する。検出器大型化を目的として市販されている光学グレード大型単結晶ダイヤモンド結晶上にダイヤモンドを成長させ、その電荷キャリア輸送特性を評価した。5.5 MeV α 線に対する電荷収集効率は電子正孔ともに 99.9

第 3 章では原子炉格納容器雰囲気モニタ用ダイヤモンド積層 γ 線検出器の応答シミュレーションと検出器作製、評価について報告する。PHITS を用いたモンテカルロシミュレーションの結果

からダイヤモンド薄膜を 4 枚積層させた総厚さ約 300 μ m の検出器を考案した。実際に約 9 mm 角 HP/HT IIa 型基板上に合成した薄膜試料を 4 枚にレーザー切断し、検出器を作製した。検出器は 137Cs 線源から放出される 662 keV γ 線のコンプトン端を明確に観察することに成功し、目論見通り 60Co 線源と 137Cs 線源の 2 種の γ 線核種を用いた測定から、γ 線核種の弁別が可能であることを実証した。

第 4 章では福島原発廃炉に向けた燃料デブリの臨界近接モニタへの適用、更にその後の原子炉での中性子計測を目指したダイヤモンド熱中性子検出器の応答シミュレーションと試作、その評価について報告する。ダイヤモンド上に 10B4C 熱中性子変換層を作製した構造を用いて熱中性子、原子炉内を想定した 662 keV γ 線に対する応答シミュレーションからダイヤモンド有感層厚さ、10B4C 層厚さの最適化や中性子と γ 線の弁別方法について議論した。検出器を試作し、中性子計測可能であることを実証した。

第 5 章では厚さ 300 μ m の市販検出器グレードダイヤモンド単結晶に小型 CMOS プリアンプを接続した検出器を用いて、5.9 keV～59.5 keV までの光子に対する応答を評価した。59.5 keV γ 線に対するエネルギー分解能は 3.8 keV であり、5.9 keV X 線に対するエネルギー分解能は最高で 484 eV であった。改善すべき点は多いが、初めて単結晶ダイヤモンド検出器を用いた X 線エネルギースペクトロメータの実現可能性を実験的に示した。

第 6 章はまとめであり、ダイヤモンド放射線検出器の大型化とその応用に関して著者が得た知見をまとめると共に、今後の課題についても述べている。

これを要するに著者はいろいろな分野からのニーズにこたえるためダイヤモンド放射線検出器の大面積化に取り組み、これまで使用されていなかった結晶性に劣り、含有不純物の多い単結晶基板を使用したエネルギースペクトロメータグレードのダイヤモンド放射線検出器製作の道を開いた。さらにそれらの技術を用いて、高温における γ 線測定、中性子計測、X 線計測などへの適用可能性を示したものであり、結晶工学、放射線計測学に対して貢献するところ大なものがある。よって、著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。