



Title	Lift-off法により作製した単結晶CVDダイヤモンド放射線検出器の電荷キャリア輸送特性向上と核融合プラズマ診断への応用 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	嶋岡, 毅紘
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12307号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61672
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Takehiro_Shimaoka_review.pdf, 審査の要旨



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 嶋岡 毅紘

審査担当者 主 査 准教授 金子 純一
副 査 教 授 柴山 環樹
副 査 教 授 越崎 直人
副 査 准教授 山内 有二

学位論文題名

Lift-off 法により作製した単結晶 CVD ダイヤモンド放射線検出器の電荷キャリア輸送特性向上と
核融合プラズマ診断への応用

(Improvement of charge transportation properties of single-crystal chemical vapor deposited diamond
radiation detector obtained by lift-off method and its performance evaluation for fusion plasma
diagnostics)

ダイヤモンド放射線検出器は 5.5eV のワイドギャップによる高温動作、低漏れ電流、高い絶縁破壊電界強度、可視光不感等の特長をもつ。優れた中性子耐性 ($> 10^{14}$ fast neutron/cm²) を有る。さらに $^{12}\text{C}(\text{n},\alpha)^9\text{Be}$ 反応を利用することで DT 中性子計測に基づくプラズマイオン温度測定も可能である。これらの特長からダイヤモンド放射線検出器は DT 中性子エネルギー spektrometer や荷電交換中性粒子モニタ等の核融合プラズマ診断装置として応用が期待されている。

過酷環境でダイヤモンドが本来持つ特性を発揮するためには電子・正孔ともに電荷捕獲準位の限りなく少ない理想的な単結晶ダイヤモンドが求められる。結晶中に電荷捕獲準位がある場合、動作温度上昇に伴う捕獲準位の活性化により漏れ電流、電荷捕獲が増加し計測が困難となる。また、プラズマ診断の測定環境下では数 kcps 以上の高計数率下での動作が求められ、短時間でチャージアップが発生し検出器動作が不安定になる。

この状況を受け近年ではマイクロ波プラズマを用いた化学気相成長 (CVD) 法により単結晶基板上へのホモエピタキシャル成長した単結晶 CVD ダイヤモンドが用いられる。一般的に成長層をレーザー切断・機械研磨により自立膜を得るため成長率 $\mu\text{m/h}$ の気相成長に対して 100 μm オーダの切りしろを要する非効率な方法であった。

一方、北海道大学では産業技術総合研究所関西センター協力のもと炭素イオン注入、電解エッチングを組み合わせた Lift-off 法により単結晶 CVD ダイヤモンド放射線検出器開発を行っている。この方法は切りしろ約 2 μm と成長層のほとんどを利用できる。Lift-off 法で得られた試料の電荷収集効率は電子について約 3 % 電荷捕獲があった。電子電荷キャリア輸送特性を劣化させる原因としては窒素不純物、構造欠陥、そして NV 発光の存在から窒素と対をなす点欠陥等が示唆されていた。

本研究では生産性の高い Lift-off 法を用いた単結晶 CVD ダイヤモンド自立膜の電荷キャリア輸送特性について、上記の電荷捕獲準位を低減、電子電荷収集効率を改善した上で核融合プラズマ診断を念頭にした各種応答関数評価によりその適用可能性検討した結果について報告する。

第 1 章ではダイヤモンド放射線検出器の特長を引き出し過酷環境下で使用するためには電子に対

する電荷捕獲を可能な限り低減することが重要であることを既存検出器の現状より示し、電子電荷収集効率改善の指針を述べた。

第2章では不純物、欠陥低減のため気相成長時の窒素汚染低減、0.2% 近傍での低メタン濃度成長並びに成長温度の上昇を行い、電荷キャリア輸送特性を評価した。これにより正孔 100.1%, 電子 99.8% の電荷収集効率を達成、Lift-off 法においてもトップクラスの電荷キャリア輸送特性を持つダイヤモンドの合成に成功した。

第3章では第2章で得られた試料に対し ϵ 値、Fano 因子の評価を行った。エネルギー分解能は実測値で 0.31% とダイヤモンド検出器としてトップクラスの値を示した。さらに、ファノ因子は $F = 0.4$ でありダイヤモンド放射線検出器として初めて Fano 因子が 1 より小さくなることを実験的に示した。

第4章では DT 中性子エネルギー spektrometer への応用を目指し、第2章で得られた試料に対し 14MeV 中性子応答関数評価を JAEA/FNS において行った。 $^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{Be}$ 反応に対応するエネルギー分解能は最高で 1.5% を達成した。検出器固有エネルギー分解能は 0.79% であり人工ダイヤモンドとして初めて天然ダイヤモンドで報告されていたエネルギー分解能最良値を上回った。

第5章では荷電交換中性粒子モニタへの応用を目指し、3MeV プロトンによる高計数率照射試験、150-400keV の低エネルギープロトンに対する照射試験を行った。逆バイアス印加による波高値回復から数 MeV イオンによる照射では塑性的な損傷ではなく電荷捕獲が波高値低下の主な原因であることが明らかにした。低エネルギープロトン照射では不感層の存在が明らかになった。

第6章では高速点火方式慣性核融合中性子 burn ヒストリモニタへの適用を目指し、高強度 X 線、DD 中性子に対する応答関数を評価、実験で得られた応答関数から適用可能範囲と課題を明らかにした。DD 中性子に対し 10^8 neutrons/shot 以上の中性子イールドで応答関数取得に成功した。光検出器の使用が困難な高強度 X 線下において、単結晶 CVD ダイヤモンド放射線検出器の使用が有効であることが示された。

第7章では研究全体の結論と今後の展望について述べる。

これを要するに著者は、生産性に優れる Lift-off 法をもちいながらダイヤモンド単結晶の電荷キャリア輸送特性を限りなく理想に近づけ、放射線検出器の性能を改善した上で核融合プラズマ診断用途に適用した。本研究によって得られた知見ならびに検出器性能はこれまで不可能であった計測を可能とするものであり、放射線計測学、結晶工学、核融合プラズマ診断学の進歩に貢献するところ大なるものがある。よって、博士(工学)の学位を授与するに値するものと認める。