

暗黒物質方向探索への応用に向けたダイヤモンド NV center の飛跡検出能力評価

Study of diamond tracking detector using NV center for directional dark matter search

梅本 篤宏¹⁾

牧野 高紘²⁾

Atsuhiro UMEMOTO

Takahiro MAKINO

¹⁾筑波大学

²⁾量研

（概要）

暗黒物質の有力候補の 1 つである WIMPs は地球上での直接検出が期待されており、弾性散乱によって反跳された原子核を捉えることで WIMPs の質量と反応断面積が測定される。原子核反跳の角度分布には天の川銀河での太陽系の固有運動による異方性が生じる。

ダイヤモンド中の炭素を置換した窒素と空孔から成る nitrogen vacancy (NV) center は、蛍光飛跡検出法として原子核の飛跡検出ができるだけでなく、そのスピン状態が外場に対して感度を持ち量子センサーとして機能するためナノスケールトラッキングが期待できる。量子センシングを応用した粒子検出手法の確立により、WIMPs による $E < 100$ keV の炭素反跳飛跡の検出が期待できる。

キーワード：ダイヤモンド, NV center, 暗黒物質探索

1. 目的

ダイヤモンド NV center を用いた蛍光飛跡検出法による原子核飛跡検出を実証し、WIMPs による $E < 100$ keV の炭素反跳に対する方向感度について評価を行う。蛍光飛跡検出法では窒素不純物を含むダイヤモンドに入射した重粒子が核的な相互作用で多量の原子空孔を形成し、直近の窒素原子との結合で飛跡に沿って形成された NV center を読み取ることで行う[1]。 $E < 100$ keV の炭素の核的阻止能に相当するエネルギーロスに対し、NV center の形成が可能であることを示す。

2. 実施方法

ダイヤモンド中の窒素不純物量が 1-200 ppm の範囲にある幾つかの HPHT 合成結晶を用意し、AVF サイクロトロン加速器による重イオンを照射した。今回は $E = 454$ MeV の Xe を前期に、 $E = 220$ MeV の Carbon を後期のビームタイムで使用した。ダイヤモンド表面に対し重イオンが 10° の傾斜で入射されるように固定治具を用意し、ビーム径 $\phi \sim 1$ cm の領域に $3 \sim 4$ 個のダイヤモンドを設置することで複数試料を同時照射できるようにした。フルエンスは照射時間とフラックスから推測し、 5×10^6 ions/cm² に設定した。実際のビーム照射の際には牧野高紘主幹研究員に協力していただき、円滑に測定を実施した。

3. 結果及び考察、今後の展開等

重イオン照射後の試料は筑波大学に持ち帰り、アニーリング処理と共焦点顕微鏡による観察を進めた。初めに購入が容易で複数個の試料を用意できた、窒素不純物量 200 ppm の HPHT ダイヤモンドに対して 1000℃ で 2 時間の熱処理と混酸処理の後に観察を行ったが、光飛跡検出法以外の要因での NV center の形成が確認され、飛跡光学像の確認には至らなかった。これは処理時間と温度が適切でなかった、もしくは窒素不純物量が多すぎたことでそもそも空孔を持っていたことが可能性として考えられる。試料数が少ないため熱処理の条件を振ることができないが、今後は窒素不純物量 5 ppm, 25 ppm の HPHT ダイヤモンドに対して解析を進めていく予定である。参考文献[1]では、数 ppm の窒素不純物量の試料で Xe 飛跡観察が報告されており、まずは先行実験の結果を再現させることを目標に、その後 Carbon の解析を進めていく。

4. 引用(参照)文献等

[1] S. Onoda, et al., New application of NV centers in CVD diamonds as a fluorescent nuclear track detector, Phys. Status. Solidi. A 212 (2015) 2641.