

研究紹介

星野 靖 准教授

理学部 理学科
大学院 理学研究科 理学専攻(物理学領域)
量子ビーム応用研究室

#量子ビーム
#半導体デバイス
#量子デバイス
#ワイドギャップ半導体
#イオン加速器
#放射線物理
#イオンビームによる定量分析

Associate professor
Yasushi HOSHINO

物質中へのイオンビーム照射によって生じる動的プロセスの解明

本研究の優位性

- ▶ 物質中へのイオンビーム照射によって生じる原子構造変化やドーピング、反応促進といった動的プロセス（原子スケールダイナミクス）の解明。
- ▶ その知見をもとに、次世代のパワー半導体や量子機能材料の構造制御、特性最適化につながる技術の開発と応用を推進する。

材料が“どう応答するか”に着目し、現象を科学的に理解しながら、その性能を引き出す方法を一緒に探ることが私たちのアプローチです。

➡ 量子ビームを軸とした“材料制御”と“機能創出”を一体化する応用研究に取り組む

研究のキーワード

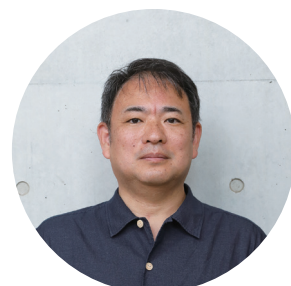
- 現状の社会課題 …… Si半導体の性能限界と新規革新材料の探索 ビーム照射技術や構造評価における専門知識の高度化
放射線耐性や高機能性を求める社会ニーズの高まり
- 対応策・方向性 …… 高性能素材の社会実装を支える評価基盤の整備 材料の機能を引き出す制御技術の高度化
初期段階から活用できる研究・試作体制の構築 多用途に対応する柔軟な照射・分析環境の提供
宇宙・量子・環境分野への技術展開の加速

◆ 星野准教授 プロフィール

新潟県南魚沼市出身。立命館大学大学院博士後期課程修了、博士(理学)。京都大学大学院工学研究科およびパリ第6・7大学研究員などを経て、2008年より本学理学部に着任し、量子ビームによる物質構造の制御と半導体材料の高機能化に関する研究に従事。ダイヤモンドなど次世代材料を対象に、高温・高エネルギー下での照射プロセス設計や非破壊分析にも取り組む。

◆ 参考資料

1. [\[室温でのホウ素注入と低温アニールによるダイヤモンドのp型活性化\]](#) Appl. Phys. Lett. 115, 072103 (2019)
2. [\[低エネルギー \$O^+\$ 注入による極薄 SOI 形成メカニズムの解明\]](#) J. Phys. D 49, 315106 (2017)
3. [\[\$SiO_2/Si\$ 界面近傍にホットイオン注入した Fe 微粒子の挙動解析\]](#) Jpn. J. Appl. Phys. 50, 035601 (2011)



1 従来研究や社会が抱える課題

社会的背景や解決すべき課題

- 半導体は、スマートデバイス・電力変換機器・宇宙探査など、社会基盤を支える技術。
- 従来素材であるシリコンは性能限界に近づきつつあり、更なる省エネルギー化を阻んでいる。
- 炭化ケイ素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) に加え、酸化ガリウム (Ga_2O_3) やダイヤモンド、窒化アルミニウム (AlN) などの次世代材料が注目されている。
- 特にダイヤモンドは、高絶縁破壊電界強度・高熱伝導率・耐放射線性を有し、将来のパワーデバイス・量子デバイス素材として有望。

➡ 従来材料の限界を超える新素材が、カーボンニュートラルや宇宙産業の鍵になる

- ダイヤモンド中の窒素-空孔対 (NV: Nitrogen-Vacancy center) 中心などを活用する量子デバイスの研究も進展中。

➡ 半導体技術と量子技術の融合において、“素材設計”から始める開発が求められている (経産省資料)

従来の技術・方法の課題

- 新素材の研究開発には、欠陥制御・深さプロファイルの分析・照射条件最適化などの高度な技術が必要。
- しかし現場では:
 - 加速器利用には、制限も多くコストがかかる
 - ビーム照射・分析ノウハウの不足
 - 初期段階での検証環境が乏しい

➡ “まず試してみたい”を実行できる環境がないことが、技術革新のボトルネックになっている

➡ 大学の加速器と専門知識を、柔軟かつ小さな単位から提供可能です。企業の“初期探索”や“未知領域の試行”に活かすことができます



2 技術シーズ内容、詳細（課題に対する解決策）

▶ 提案する技術の概要

本研究室では、量子ビーム（主にイオンビーム）を用いた材料照射・加工・分析を通じて、次世代材料の物性制御と定量的評価を実現する一貫した評価・プロセス支援体制を構築しています。

特に、照射プロセス設計 → 分析 → フィードバック → 応用展開までを柔軟かつスピーディに実施可能な環境を整えており、産業界との試行的な連携にも対応しています。

保有技術の中核

● 加速器を用いたビームイオン照射

[200kV 加速器] 対応イオン種:H, He, B, C, N, O, F, Ne, Si, P, S, Ar, Ti, Fe, Co, Ge, As, Kr, Xe (実績)、他のイオン種は応相談

- ・エネルギー領域:5 keV ~ 200 keV
- ・線量制御: $10^7 \sim 10^{17}$ ions/cm²、入射角度・時間も可変
- ・サンプル温度:液体窒素温度~1000℃

[1MV 加速器] 対応イオン種:H, He, Li, B, C, O, Si, P, Ni, Cu (実績)、他のイオン種は応相談

- ・エネルギー領域:400 keV~3 MeV
- ・線量制御:最大 10^{15} ions/cm²
- ・サンプル温度:室温~700℃

● 照射による構造変化・機能欠陥の創出

- 欠陥制御（生成・回復）のスクリーニング
- 高濃度不純物注入によるキャリア制御（p型／n型）
- NVセンター等の量子欠陥形成条件の最適化

原子・電子構造を実験的に誘導・制御

● 非破壊・定量分析（深さプロファイル評価）

- ラザフォード後方散乱分光（RBS）
- 核反応分析（NRA）
- 弾性反跳検出（ERD）
- RBS解析ソフトによる数値解析・スペクトルフィッティング支援

軽元素含む組成変化・元素深さ分布を非破壊で定量可視化
（深さ分解能：数 10 nm）

特にNRAとERDは水素などの軽元素の定量深さプロファイルに優れ、EDXやXPSでは得られないデータを非破壊で取得できます。

▶ 本技術の優位性

項目	本研究の優位性	従来技術・課題
照射柔軟性	エネルギー・線量・角度・試料温度（液体窒素温度~1,000℃）等が可変。設計自由度向上が期待	条件が固定的、最適化困難
装置アクセス性	大学内装置で即応・小規模・相談しやすい	大型施設依存、予約制・高コスト
対象素材	Ga ₂ O ₃ ・ダイヤモンド等の次世代素材に対応	Si系中心
評価技術	RBS・NRA・ERD等による定量・深さプロファイル対応	EDX等の定性分析や二次イオン質量分析法（SIMS）等による破壊分析中心
研究段階対応	初期段階・試作フェーズからの伴走支援が可能	製品化以降中心

➡ “使い方を相談できる照射技術”として、探索的な研究・試験において非常に有用

企業連携における技術運用の流れ

1. 照射目的に応じた条件設計・
ビームパラメータ提案

(例:ドーピング/NV形成/耐放射線試験/拡散抑制など)

2. 試作レベルの少量照射・評価に対応

(必要に応じてSRIMシミュレーションなども併用)

3. RBS・NRA・ERD 等による照射後評価、
フィードバック

(スペクトル解析・可視化レポート化も支援)

4. 次段階の応用展開に向けた共同検討

(スケールアップ、装置内実装、企業プロセス接続など)



「まず試したい・確かめたい」を技術的に支える環境と知見を提供

▶ 結晶構造分析・ドーピング事例

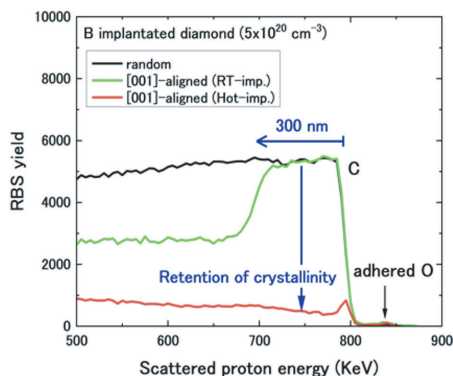
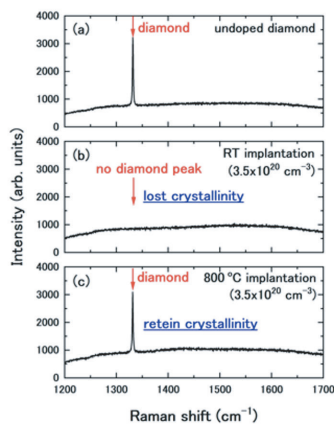
高温イオン注入による非破壊高濃度不純物ドーピング(ラマン散乱・RBS分析)

- 室温および800℃の条件下で、Bイオン($3.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)をダイヤモンドへ注入
- ラマン分光では、高温注入により結晶性が維持されていることが確認され、RBSスペクトルからは結晶性深さプロファイルが得られた



ホットイオン注入により、非破壊かつ高濃度ドーピングが実現可能

ラマン散乱(左)、RBS分析(右)

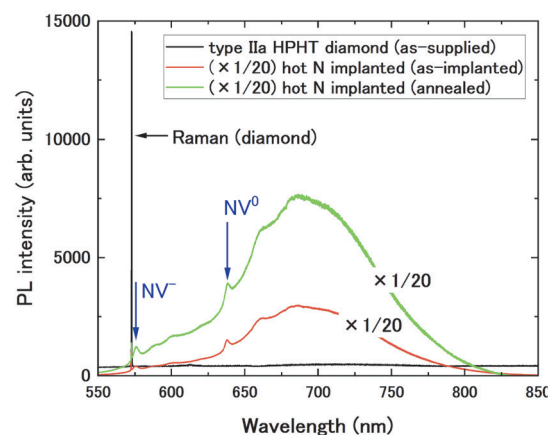


▶ ダイヤモンドへのNイオン注入によるNV形成とフォトルミネッセンス(PL)評価

- 高温照射によるNイオン注入
→ アニール処理によりNV欠陥の生成を促進
- フォトルミネッセンス測定では、NV中心による発光が照射後に増大し、アニールでさらに倍増

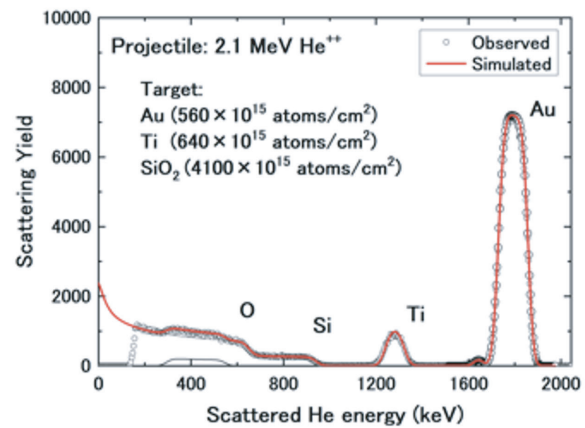


量子センシング応用に向けたNV形成条件の最適化に貢献



▶ RBS法による組成・構造深さ定量分析

- 照射材料のRBSスペクトルと、RBS解析ソフトによる理論スペクトルを比較
 - 実測とシミュレーションの一致から、nm～μmスケールでの構造・組成分布の定量評価が可能
- ➡ 非破壊で深さ方向の多層構造・不純物プロファイルの可視化が可能



▶ 装置スペックと対応範囲(概要)

項目	200 kV 加速器	1 MV 加速器
加速器種別	中電流型イオン注入装置	ペレトロン型タンデム加速器
対応イオン	H～Xe までの元素	H～Cu までの元素
エネルギー範囲	5 ～ 200 keV	400 ～ 3 MeV
線量制御	$10^7 \sim 10^{17}$ ions/cm ²	最大 10^{15} ions/cm ²
用途	ドーパントイオン注入 イオンビーム照射欠陥形成 イオンビーム照射アニール 放射線検出器の耐性評価・キャリブレーション	RBS, ERDA, NRA 定量分析 高エネルギーイオン注入・照射 高エネルギーイオンビーム照射アニール 放射線検出器の耐性評価・キャリブレーション
試料サイズ	数 mm～10 cm まで	最大 2 cm まで
対応材料例	ダイヤモンド、Ga ₂ O ₃ 、SiC、GaN、AlN、SOI 基板等	



3 今後の社会への適用性、展望

▶ 応用分野

- 高耐圧・高周波デバイス (EV・電源機器)
- 放射線環境対応センサー (宇宙・廃炉作業)
- 量子センシング・通信 (NVセンター制御)
- 各種放射線検出機器
- 新素材の信頼性評価、照射耐性試験、ドーピング制御



一見ニッチに見える試行も、未来の中核技術に繋がると信じています。
“材料から機能設計まで”をつなぐ、実験支援型の産学協創を目指します

(結び)

本技術は、大規模応用だけでなく、装置利用・試行照射・サンプル作製など、小さな単位でのご相談にも柔軟に対応可能。



まず試したい”という段階から、丁寧にお手伝いします。ぜひお気軽にご相談ください。



本技術は、大規模応用だけでなく、
装置利用・試行照射・サンプル
作製など、小さな単位で
ご相談にも柔軟に対応可能です。

<お問合せ先>

神奈川大学
研究推進部 産学官連携課
TEL:045-481-5661
FAX:045-481-6077
e-mail sankangaku-renkei@kanagawa-u.ac.jp

教員紹介サイト →

