

イオンビーム誘起発光分析・イメージングを用いた 粒子線微細加工(PBW)微細加工領域のその場観察技術

In-situ observation technique of micro-modification patterns under particle beam writing

by Ion Beam Induced luminescence (IBIL) analysis and imaging



群馬大¹, 量研² ◯(M1)張 錦汕¹, 白井 洸貴¹, 菊池涼太¹, 加田 渉¹, 花泉 修¹,
山田 尚人², 佐藤 隆博², 石井 保行²

Gunma Univ.¹, QST², ◯(M1) Zhang Jinshan¹, Koki Usui¹, Ryota Kikuchi¹, Wataru Kada¹,

Osamu Hanaizumi¹, Naoto Yamada², Takahiro Satoh², and Yasuyuki Ishii²

E-mail: t211d602@gunma-u.ac.jp

1. はじめに

Proton/Particle Beam Writing (PBW)技術は、加工対象の選択性が高く、高いアスペクト比での加工が可能な特徴的な量子ビーム利用微細加工技術である。これまでに、高分子材料の微細加工[1,2]や、ワイドバンドギャップ半導体材料の欠陥エンジニアリング[3,4]に応用されている。PBW 技術の拡充には、対象材料の拡大や照射条件の迅速な把握が必要である。迅速に照射成果物を得るためには、照射領域の精密な状況記録と、照射下での逐次的評価が必要である。粒子線を利用した分析技術において、準非破壊的に照射領域の化学形態変化を分析できれば、照射領域近傍の変化の可視化が可能であるが、従来技術において、特性 X 線等の分析では、これらの変化の把握は困難であった。これに対して、イオンビーム誘起発光(Ion Beam Induced Luminescence: IBIL)は、化合物や化学結合状態等を反映する信号を低エネルギー光子により分析可能な技術として注目を集めている。そこで本研究では、数 MeV 級の集束陽子線照射体系において IBIL 分光分析を微細加工操作と同時に利用可能とすることで、PBW の照射中もしくは照射前後において対象領域の可視化を目指した。

2. 実験と結果

量研機構高崎研施設 (TIARA) に設置された 3 MV シングルエンド加速器軽イオンマイクロビームラインを活用し IBIL 分析体系を構築した。集束ビーム照射領域からの波長範囲 320-750 nm の IBIL について、複数波長を同時にかつ光子計数レベルの高感度で計測することを目標に、回折格子 (浜松ホトニクス A10766-017-01) と 32 チャンネル光子計数光電子増倍管 (浜松ホトニクス H12211-20) を利用した高速波長分散型 IBIL 光子計数型検出器[5]を計測に利用した。各 PMT アレイからの光子計数パルス信号は、FPGA (Altera EP4CE15F17C6N)ベースの信号処理回路により、既存のマイクロ PIXE 分析用の信号処理システムで画像として解析可能とした。最大 3 MeV までの集束陽子ビームを微細加工に用いる PBW の体系において、高分子材料である PMMA やフォトレジスト材料、ならびに有機物試料を微細加工として設置し、微細加工前後において IBIL 分光分析・イメージングの結果を比較した。図 1 に PBW 微細加工前後における微細加工パターン照射前後の有機物粉体(riboflavin)試料の照射領域の簡便な可視化例を示す。IBIL によって、照射前には確認されなかった 9 つの正方形型の照射領域が、照射後の IBIL 像においてパターンとして結像させることに成功した。IBIL の照射による微細加工は、照射後処理を経ることで照射の成否がはじめて確認できるが、本手法を用いることで、照射中にその加工状況をモニタリングできる可能性が示された。今後、さらに多様な材料への照射試験や、IBIL 検出器の感度向上を図ることで、汎用技術として微細加工領域を簡便に評価可能な技術の構築が期待される。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 (JP26706025, JP20H04450) の助成を受けた。

参考文献

- [1] W. Kada et al., *Nucl. Instr. and Meth. Sec. B.*, **348**, pp.218-222, (2015).
- [2] R. K. Parajuli et al., *Jpn. Appl. Phys.* **55**, p. 06GD01, (2016).
- [3] H. Kraus et al., *Nano Letters*, **17**(5), pp. 2865-2870(2016).
- [4] M. Haruyama et al., *Key Eng. Mat.*, **790**, pp. 48-54, (2018).
- [5] W. Kada et al., *Nucl. Instr. and Meth. Sec. B.*, **406**, pp.124-129, (2017).

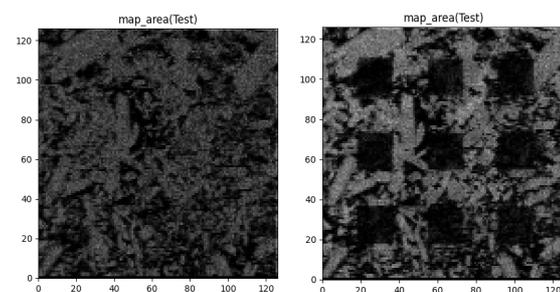


図 1 PBW 微細加工前後での照射領域の IBIL 観察例 (左)照射前 (右)照射後