

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 203-2 Beam Application, Beam Measurement, Target

📅 Fri. Mar 14, 2025 2:45 PM - 3:55 PM JST | Fri. Mar 14, 2025 5:45 AM - 6:55 AM UTC 🏠 Room B(Zoom room 2)

[3B06-09] Quantum Beam Application 3

Chair:Naoto Hagura(TCU)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[3B06]

Organotin based polarity change resist used for EUV lithography; Radiation chemistry and the Effect of counter anions

*Kohei Hashimoto¹, Yusa Muroya¹, Takahiro Kozawa¹, Kohei Machida², Satoshi Enomoto², Bilal Naqvi³, Danilo De Simone³ (1. SANKEN, 2. Toyo Gosei Co., 3. imec)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[3B07]

Development of neutron phase imaging instrument to advance metal additive manufacturing technology

*Masahiro Hino¹, Yoshichika Seki², Takuya Hosobata³, Taisuke Kono¹ (1. Kyoto Univ., 2. Tohoku Univ., 3. RIKEN)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[3B08]

Study on Natural Abundance Measurement Using Flat-Laser Compton Scattering Gamma-ray Beam in UVSOR

*Kai Nishimoto¹, Heishun Zen¹, Hideaki Ohgaki², Toshiyuki Shizuma², Omer Mohamed³, Takehito Hayakawa² (1. Kyoto Univ., 2. QST, 3. JAEA)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[3B09]

Study on Scattering Removal Methods for Nondestructive Testing Using High-Energy X-rays

*Yuhei Kamichika¹, Shuichi Hasegawa¹, Zhenjun Li¹, Akio Sugita¹ (1. UTokyo)

3:45 PM - 3:55 PM JST | 6:45 AM - 6:55 AM UTC

Time reserved for Chair

次世代 EUV リソグラフィーに向けた有機スズ含有極性変化レジストの放射線化学とそのカウンターアニオンが系に与える影響

Organotin based polarity change resist used for EUV lithography:

Radiation chemistry and the Effect of counter anions

*橋本 康平¹, 室屋 裕佐¹, 古澤 孝弘¹, 町田 康平², 榎本 智至², Bilal Naqvi³, Danilo De Simone³

¹阪大産研, ²東洋合成工業, ³imec

半導体産業では EUV の利用が本格的に始まり、この領域では光子揺らぎの影響がますます見過ごせなくなるため、新たな設計指針に基づいたレジストが必要となる。我々は、EUV 光子吸収断面積が高い有機スズを含有したレジストの開発^[1-4]を進めおり、今回はその進展を報告する。

キーワード：極端紫外光リソグラフィー(EUVL), 放射線化学, 微細加工, 有機スズ, カウンターアニオン

1. 緒言

EUVL において、スズを含む高反応性材料は微細加工に有効であるとされている。しかし、現行のレジストの系に単にスズを加えるだけでは反応系がかき乱され、これが欠陥につながる。そのため素反応を理解し、性能が干渉し合わない材料設計が重要である。本研究では、有機スズと極性変化剤(酸発生剤)を有する二元系高分子レジスト(**Fig.1**)とその単分子材料の放射線化学初期過程と生成物解析を行った。加えて、125 keV 電子線描画による条件の探索を行い、反応機構やカウンターアニオン(構造)とパターンとの関係の調査を試みた。

2. 実験

レジストの反応初期過程は電子線パルスラジオリシス(時間分解測定)により評価をした。生成物解析について、溶液中では ⁶⁰Co ガンマラジオリシスを実行し照射後の液相を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)にて分析した。薄膜試料については 50 keV 電子線ラジオリシスや飛行時間型二次イオン質量分析(TOF-SIMS)を用いた。また、実際のリソグラフィー性能評価として 125 keV 電子線描画、現像挙動調査には水晶振動子マイクロバランス(QCM)を用いた。加えて、薄膜表面の濡れ性を $\theta/2$ 法による接触角測定で評価した。

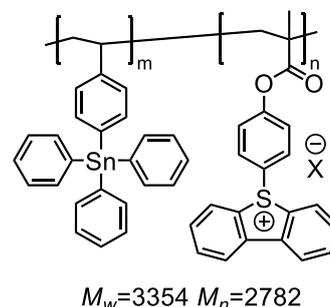


Fig.1. Chemical structure of Copolymer resists.

3. 結果と考察

上記のラジオリシス実験により、レジストの各ユニットの反応機構の詳細が明らかになった。加えて照射時にレジストのカウンターアニオンの種類(pK_a)は反応性におよそ関与しないという結果が重ねて得られた。一方で、電子線描画をはじめとしたリソグラフィー性能評価では結果がカウンターアニオンに大きく依存し、弱酸であるサリチル酸を配位させた時に最も高感度となり良好な 15 nm のハーフピッチ幅のラインアンドスペースの形成を確認できた。これは照射によって生じる酸の双極子モーメントの大小で現像時の過渡的な膨潤層の形成のされやすさに違いが生じているからと考えられ、次世代レジストにおいてはカウンターアニオンの分子構造も重要なパラメータになり得ることが示唆された。

参考文献[1] S. Enomoto et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **58**, 1, 016504 (2019) [2] S. Enomoto et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **58**, 5, 056504 (2019) [3] Y. Takata et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **62**, 7, 076502 (2023) [4] B.A. Naqvi et al., *Chem. Mater.* **36**, 3, 1459-1471 (2024)

*Kohei Hashimoto¹, Yusa Muroya¹, Takahiro Kozawa¹, Kohei Machida², Satoshi Enomoto², Bilal Naqvi³, Danilo De Simone³

¹SANKEN, Osaka Univ., ²Toyo Gosei Co., ³Interuniversity Microelectronics Centre (imec).

金属積層造形技術高度化を目指す中性子位相イメージング装置開発

Development of neutron phase imaging instrument to advance metal additive manufacturing technology

*日野正裕¹, 關義親², 細畠拓也³, 河野大輔¹

¹京都大学 ²東北大学 ³理化学研究所

金属積層造形技術の品質保証及び高性能な造形品開発のために、非破壊で実サイズ(cm オーダー) かつ造形用金属粉以下のサイズ (μm オーダー) で空隙分布を定量的に測定可能な中性子位相イメージング開発を目指している。その現状を報告する。

キーワード：金属積層造形、中性子位相イメージング、小角散乱

金属部品をより一層軽量化し、高機能化、多品種化、リードタイム短縮可能な次世代のものづくり基盤技術の一つとして期待されている金属積層造形技術は、レーザーや電子ビーム等で数十 μm サイズの金属粉を溶かして積層するため、本質的に微細な空隙が入り易い。微細空隙 (porosity) は強度の低下等、造形物の品質に直結する。しかし同一機種で同一製作パラメーターを用いても、造形品が再現しないことが往々にある。空隙率の評価は、アルキメデス法等による密度評価、X線CT、スライス断面の顕微鏡観察等があるが、顕微鏡観察は破壊測定で手間もかかり、部品全体を測定することは難しい。X線CTは非破壊測定で強力だが、比重の大きい金属の場合、高エネルギー線源を用いても透視可能な厚さはcm程度にとどまる。中性子は電荷を持たず多くの物質に対して高い透過力をもつため、金属材料のバルク観察において際立った威力を発揮する。一般的な吸収イメージング (ラジオグラフィ) は、試料による中性子の吸収、つまり強度減衰を観測するが、試料通過時には中性子波の位相も同時に変化している。この位相情報を干渉法によって抽出し、強度コントラストとして画像化する手法が位相イメージング法である。位相イメージング法は、ステップスキャン等で強度コントラストの測定を行うため、動的な試料には適さないが、通常吸収イメージングに加えて、小角散乱によるコントラストの減衰率から、ポロシティのような微細な構造分布を高感度に可視化することが可能である。我々は中性子位相イメージング手法として、3枚の格子から構成される Talbot-Lau 干渉計を用いて、KUR の熱中性子ビームを用いて 1cm^3 立方形状の標準試料の空隙評価やアルキメデス法との比較を行っている (Fig.1)。また JRR-3 の C3-1-2 ポート用に冷中性子 Talbot-Lau 干渉計開発も進めており、2台の中性子位相イメージング装置で、金属積層造形技術の高度化に寄与することを目指している。当日は、開発の目指す方向及び現状を報告する。



Fig.1 Photograph of Talbot-Lau interferometer installed to CN-3 of KURNS [1].

参考文献

[1] Y. Seki et al., "Neutron phase imaging by a Talbot-Lau interferometer at Kyoto University Reactor", Rev. Sci. Instrum. 94, 103701 (2023).

*Masahiro Hino¹, Yoshichika Seki², Takuya Hosobata³, Daisuke Kono¹

¹Kyoto university, ²Tohoku university, ³RIKEN

F-LCS ビームを用いた NRF 収量の定量評価

Quantitative Evaluation of NRF Yield by Using F-LCS beam in UVSOR

*西本 海¹, 大垣 英明¹, 全 炳俊¹, 早川 岳人², 静岡 俊行², Mohamed Omer³

¹京大, ²量研, ³原子力機構

UVSOR の BL1U において、複数の同位体イメージング及びその定量評価委に関する研究を、小径のビームでエネルギー幅を拡大した F-LCS ガンマ線ビームを用いて行っている。²⁰⁷Pb 及び ²⁰⁸Pb の鉛同位体に対して UVSOR の BL1U ビームラインで行っている NRF 収量の定量評価に関するこれまでの結果を報告する。

Keywords : Laser Compton Scattering Gamma-ray Beam, UVSOR, NRF

1. 緒言

我々は核共鳴蛍光散乱(NRF)と UVSOR の BL1U からのレーザーコンプトン (LCS) ガンマ線を用いて、同位体分布の CT イメージを取得する手法 (NRF-CT) を開発し、²⁰⁸Pb の 3 次元 NRF-CT イメージの取得に世界で初めて成功した[1]。現在複数の同位体の同時検出と定量評価を目指し、電子ビームを円偏光アンジュレータ磁場により回転させることで、小径のコリメータでもエネルギー幅を拡大させるとともに、エネルギー分布の空間依存性を無くす F-LCS ガンマ線を提案し、そのエネルギー空間分布が、通常の LCS ガンマ線に比べて一様という事を、NRF 収量の定量評価を行う事で検証する事を目指して実験を続けている[2]。

2. NRF 実験

F-LCS ガンマ線の発生のために、UVSOR の BL1U の円偏光アンジュレータ磁場を $K=0.2$ で励磁し、 $1.896\ \mu\text{m}$ の波長のファイバーレーザー(出力約 35W, CW)を用いて、最大エネルギー5.54MeV の F-LCS ガンマ線を発生させた。図 1 のように吸収サンプルとして、直径 8 mm の ^{206,207,208}Pb 及び天然鉛を配置し、その下流に ^{206,207,208}Pb の高濃縮ロッドをウィットネスタargetとして置き、そこからの NRF ガンマ線を 2 台の大型の Ge 検出器にて測定した。このデータをもとに定量評価として、NRF ピークの減少度から天然鉛の存在比を導出した。F-LCS ガンマ線及び LCS ガンマ線を用いた場合の ²⁰⁸Pb の 5512 keV の NRF ピークの収量を吸収サンプル位置に対してプロットしたものを図 2 に示す。この結果を踏まえ、コリメータを 2 台置き、Ge 検出器をビーム軸に対して 135° の角度で再配置することで NRF 実験のバックグラウンドを減らし、測定精度の向上をはる実験を行っている。

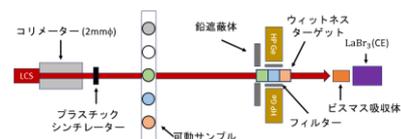


図 1 UVSOR での 1 次元イメージング実験の配置図

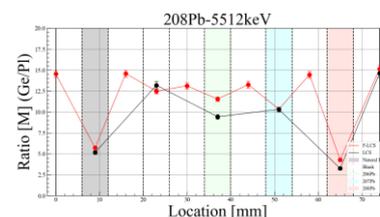


図 2 ²⁰⁸Pb の NRF レベル (5512 keV) を用いた 1 次元イメージ (赤線 : F-LCS ガンマ線、黒線 : LCS

3. 結論

F-LCS ガンマ線と LCS ガンマ線を用いた同位体検知の定量的な議論を行うために、UVSOR の BL1U において、天然鉛及び、高濃縮 ^{206,207,208}Pb の吸収サンプルを用いた NRF 実験を行っている。現在までの結果 ²⁰⁸Pb の 5512 keV の NRF ピークに対して LCS ガンマ線の場合、 $56 \pm 5\%$ という結果を得たものの、図 2 に示すように実験で得られた NRF 収量のばらつきが、測定の統計誤差より大きい。本会では実験体系を改善して行った二度目の実験結果も併せて報告を行う。

参考文献

[1] K. Ali et al., Appl. Sci. 2021, 11, 3415. [2] H. Ohgaki et al., 2024 AESJ Annual Meeting

* Kai Nishimoto¹, Hideaki Ohgaki¹, Heishun Zen¹, Takehito Hayakawa², Toshiyuki Shizuma², Mohamed Omer³

¹Kyoto Univ., ²QST, ³JAEA

高エネルギーX線を用いた非破壊検査の散乱除去に関する手法の検討

Study on Scattering Removal Methods for Nondestructive Testing Using High-Energy X-rays

*神近 祐平¹, 李 振軍¹, 杉田 彰夫¹, 長谷川 秀一¹

¹東京大学

橋梁など社会インフラに対する高エネルギーX線を用いた非破壊検査においては、明瞭な画像を得るためには散乱X線を取り除くことが望ましい。本研究では、橋梁検査を対象としたインフラ検査向け画像処理手法の確立を目指している。本講では、厚みのあるコンクリート構造物に適用可能な既存の散乱除去技術の適用可能性を検討し、結果について報告する。

キーワード : X線、非破壊検査、散乱補正、画像処理

1. 緒言

X線を用いた検査では、撮像対象物により発生する散乱線の除去が重要な課題となっている。X線を用いた検査は特に医療分野において広く利用されており、カーネル法^[1]などの散乱補正技術もいくつか確立している。しかし、橋梁検査をはじめとした厚いコンクリート構造物などを対象とした検査においては人体と比較してより多くの散乱が発生するため、直接それらを適用しても、十分に散乱が除去されない可能性がある。本講では、厚みのあるコンクリート構造物に焦点を当て、散乱除去技術の適用可能性を検討した。

2. 手法

本研究では、U-net^[2]と呼ばれる形態の畳み込みニューラルネットワークを利用し、散乱補正を行った。

U-netは、最初にエンコーダー部で畳み込みを何度か行うことで画像の特徴を抽出したのちにデコーダー部で逆畳み込みを行うことで入力画像と同じサイズの出力を行うものである。この際、畳み込みを行うことで位置情報が失われてしまうことが問題となるため、U-netでは各階層でエンコーダーの出力をデコーダーに直接つなげることで、位置情報を伝える点が特徴的である。

本研究では、位置情報を正確に伝達できるU-netの特徴を利用し、シミュレーションによって得られた散乱を含むX線画像を入力し、その出力と散乱を含まないX線画像とを比較することによって学習を行い、散乱補正を実施した。

参考文献

[1] Sun M., et al., Phys Med Biol., **55**, 6695-6720(2010), DOI: 10.1088/0031-9155/55/22/007.

[2] Olaf R., et al., LNCS, **9351**, 234-241(2015), DOI: 10.1007/978-3-319-24574-4_28

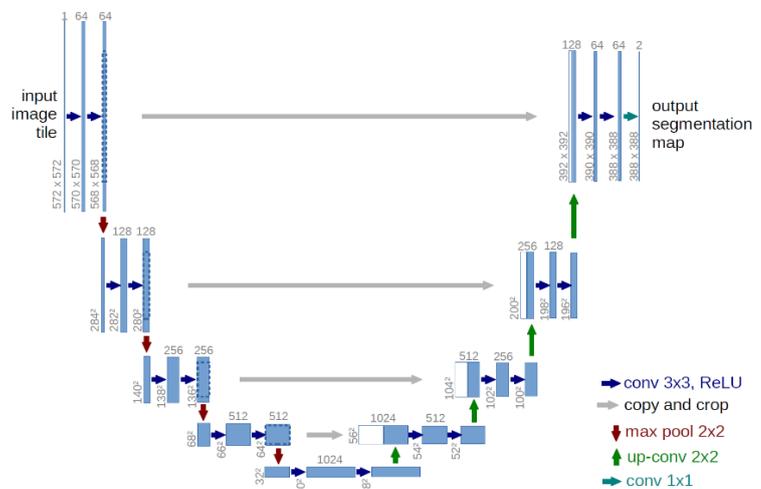


図1: U-Netの構造^[2]

*Yuhei Kamichika¹, Zhenjun Li¹, Akio Sugita¹, Shuichi Hasegawa¹

¹Univ. of Tokyo,