

Talbot 干渉計を用いたX線ストロボスコピック位相CT

X-ray stroboscopic phase CT using Talbot interferometer

呉彦霖、高野秀和、百生敦
東北大多元研

広いX線エネルギーバンド幅で機能する Talbot 干渉計あるいは Talbot-Lau 干渉計を用いたX線位相イメージングでは、白色シンクロトロン放射光と CMOS センサーを用いた高速X線カメラを組み合わせた位相CT測定的高速化により、ミリ秒時間分解能での動的位相イメージング撮影、および、サブ秒～秒オーダーの時間分解能での4D位相CT撮影が可能であることを示してきた [1, 2]。さらには、ストロボ法を併用することにより、マイクロ秒の時間分解能で動的撮影ができることも実証している [3]。

本研究では、白色放射光を用いた Talbot 干渉計について、連続縞走査計測法 [4] とストロボスコピックな計測法を組み合わせることにより、マイクロ秒オーダーの繰り返し現象を高速で3次元計測する手法の開発を試みた。一例として、25Hzで伸縮させる繰り返し応力下にあるゴム試料の圧縮伸長する繰り返し現象を高空間分解能で高速で捉えるストロボ位相CTの予備実験に最近成功した。

参考文献

- [1] A. Momose et al., Opt. Express 17, 12540 (2009).
- [2] A. Momose et al., Opt. Express 19, 8423 (2011).
- [3] M. Olbinado et al., APEX 6, 096601 (2013).
- [4] S. Kibayashi et al., AIP Proc. 1466, 261 (2012).

単スリットを用いたX線位相コントラスト CT の再構成法 Investigation of re-construction method in X-ray phase-contrast CT imaging with a single slit

藤森 茜¹, 岡本博之², 水野 薫³

1 つくば国際大医療保健, 2 金沢大医薬保健, 3 島根大学総合理工

X線位相コントラスト法は、医学応用に向けた研究が精力的に行われ、将来的にはCT装置の開発が期待される。しかし、従来の方法では、精密な光学系の回転方法、光学素子のサイズ、得られる画像の定量性、等の問題から実用化に至っていない。そこで、単スリットのみで位相像が得られる手法に着目し、CT装置を作製した。¹⁾この方法は光学系が単純であり、光学系を回転してのCT化にも、容易に対応できると考えられる。

図1に、単スリットを用いた位相コントラストCT装置の概略を示す。単スリットで線状に整形した単色X線を試料に照射し、CCDカメラで撮影する。同じ配置で試料を回転させながら、180°方向から撮影する。その後、試料をz方向に移動させ、同様な撮影を繰り返し、必要な範囲の画像を収集する。得られたそれぞれの線状像のz方向強度分布から、積分強度、期待値、標準偏差を統計的に計算し、吸収、屈折、小角散乱のそれぞれの二次元投影データを得る。同一zの投影データから、x-y平面の断層像を再構成する。同様に、測定したzの範囲のそれぞれで再構成を行う。得られた幾つかのzの再構成像より、三次元画像を構築する。

実験は、KEK-PF, BL-20Bを利用し、X線エネルギー20.7keV、カメラ長 $L=700\text{mm}$ 、スリット幅 $20\mu\text{m}$ 、スライス間隔 $20\mu\text{m}$ とした。試料の形状を図2に示す。試料は、a: アクリル製そろばん珠様部品、b: アクリル製円柱、c: 発泡樹脂製円柱の3つの部品からなり、aは屈折、cは小角散乱を検出する目的で設置した。これらをアクリル製の円筒で囲み、水で満たした。得られたデータをFBP

(filtered back projection)法で再構成したところ、図3のように吸収像では観察されない材質の違いや境界が、屈折像や小角散乱像では描出された。この他にML-EM(maximum likelihood expectation maximization)法、OS-EM(ordered subsets expectation maximization)法でも再構成を行い、再構成法の検討を行った。

1) 岡本博之 et al, 第30回放射光学学会年会 9P105.

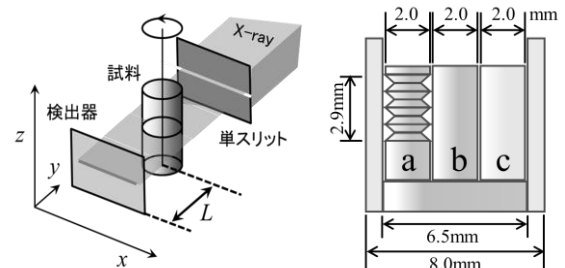


図1. 実験装置

図2. 試料の形状

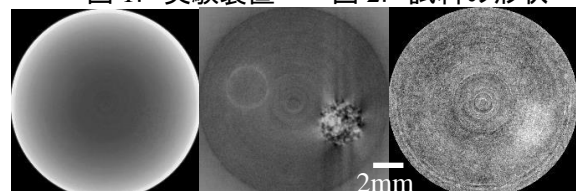


図3. 得られた位相像(左から吸収, 屈折, 散乱)

逆格子空間マッピングと局所ロッキングカーブ法による Al イオン注入 SiC 基板の歪状態の観察

Observation of strain field in Al ion-implanted silicon carbide crystals by reciprocal space mapping and local rocking curve imaging

高橋由美子¹, 平野馨一², 志村考功³, 長町信治⁴

1 日大量科研, 2 KEK-PF, 3 大阪大院工, 4 (株)長町サイエンスラボ

ワイドギャップ半導体である SiC はパワーデバイス材料として急速に発展している材料の一つであるが、イオン注入やそのダメージ回復のためのアニール処理が不可欠であるため、これらのプロセスが材料に与える影響の詳細を解明する必要がある。本研究では特に広域歪分布状態に着目してイオン注入の影響を評価する方法を検討している。このため逆格子空間マッピングによって歪状態を観察し、さらに斜入射 X 線トポグラフィー光学系にアナライザ結晶を加えた角度分解トポグラフィー[1]に局所ロッキングカーブ法[2]を組み合わせた方法を試みた。

試料は 4H-SiC(0001)基板で膜厚 5 μm のエピタキシャル層に基板温度 500 $^{\circ}\text{C}$ 、イオン濃度 1×10^{21} ions / cm^3 で Al イオンを注入後、1800 $^{\circ}\text{C}$ で 5 分間アニールを行っている。

実験は KEK-PF, BL-14B、BL-3C で行った。0008 ブラッグ反射近傍の逆格子マップでは 0008 反射から $[-1 -1 2 0]$ 方向にシフトした散漫な散乱が観察されイオン注入プロセスの影響と考えられる。11-28 反射局所ロッキングカーブから再構成したイオン注入層近傍のピーク位置分布でも場所に依存して ± 30 μrad 程度のピークシフトが見られ、マクロな変形・歪場の存在がうかがえる。今後さらに詳細な検討を行う。

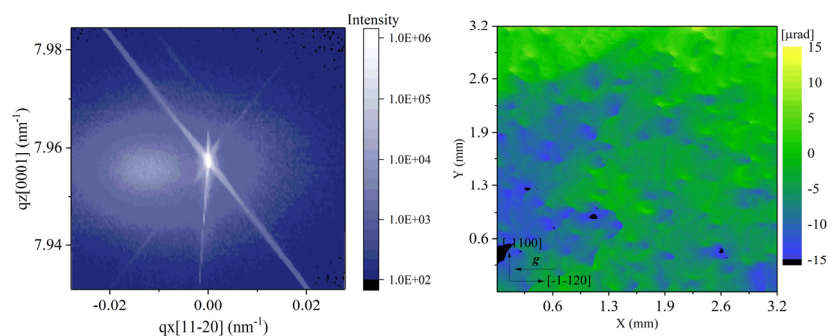


図 1 Alイオン注入4H-SiC の逆格子空間マッピング(左)と局所ロッキングカーブピーク位置分布(右)

- [1] T. Ishikawa, S. Kikuta, K. Kohra., Jpn. J. Appl. Phys. **24**, L559 (1985).
[2] 志村考功, 細井卓治, 渡部平司, 日本結晶学会誌 **54**, 47 (2012).

中性子イメージングを用いた二軸応力試験手法の開発 Development of a Biaxial Tensile Testing Method with a Neutron Imaging Apparatus

張 朔源¹、林田 洋寿¹、桐山 幸治¹、鈴木 淳市¹、及川 健一²、篠原 武尚²
1 CROSS、2 JAEA

近年、軽量化、安全性向上等の観点から輸送機器等の分野で高強度材料の利用が進んでいる。しかし、高強度材料には成型性が低くなるという課題がある。

そこで我々は板材の変形挙動分布(結晶組織構造の分布)を微視的に調べることを目指して、二軸引張試験機と中性子ブラッグエッジイメージング法を組み合わせた観測法の開発に取り組んでいる。

そのためにまず通常使用される横置型の二軸引張試験機を物質・生命科学実験施設(MLF)のエネルギー分析型中性子イメージング装置「螺鈿」に縦置きに設置できるように改良した。

中性子実験では 540MPa 級熱延高張力鋼板(厚み 3.2mm)の十字形試験片の 28.8mm×28.8mm の観測面に対して、無負荷状態、弾性領域、塑性領域、除荷状態のブラッグエッジプロファイルを取得した。弾性領域、塑性領域の負荷状態では応力比 $\alpha_x: \alpha_y = 1:1$ や 4:1(x 方向が圧延方向)の二軸引張応力を印加した。ブラッグエッジプロファイルを解析し、格子面間隔とブラッグエッジの幅(半価幅)の二次元分布を求めた。応力印加状態では無負荷状態と比べて試験片の厚み方向の格子面間隔が縮み、ブラッグエッジの幅が広がる結果が得られた。ブラッグエッジの幅の広がりには転位密度の増大によると思われるが、その定量的な検証やこれらの量の二次元分布の妥当性の検証は今後の課題である。

高分解能 CT を用いた CFRP 内に発生した亀裂の観察

Observation of cracks in carbon fiber reinforced plastics using high-resolution computed tomography

渡邊稔樹¹・武市泰男^{1,2}・丹羽尉博¹・木村正雄^{1,2}

1 KEK-放射光 II、2 総研大

我々は航空機用構造材料の特性向上のためのヘテロ構造因子の解明に取り組んでいる[1]。炭素繊維強化樹脂（CFRP）は軽量かつ高い強度を持つため、航空機への利用など広く産業分野への応用が行われている材料である。このような構造材料の機械的性質及び耐久性の向上には、破壊現象の起点となる亀裂の発生と進展をマルチスケールで理解することが重要である。高空間分解能で 3D イメージングが可能である放射光を用いたコンピュータ断層撮影（CT）法は、CFRP 内に発生した亀裂などの内部構造の観察に対して非常に強力な手法である。

高エネルギー加速器研究機構の PF-AR NW2A に導入した XAFS-CT 装置の概略を図 1 に示した。CFRP を構成する炭素などの軽元素は硬 X 線の吸収が非常に小さいため、X 線が物質を透過する際に生じる位相差を可視化する位相コントラスト法を用いた 3D イメージングを行った。本発表では、図 2 に示した CT 測定用の荷重試験ステージを用いて、CFRP 試験片に荷重を印加した状態で *in situ* 測定した結果について報告する。

本研究は内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「革新的構造材料」（ユニット D66）（管理法人：JST）の支援により実施した。

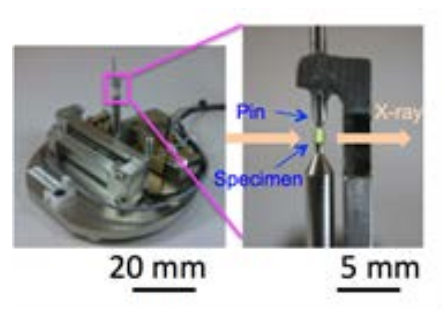
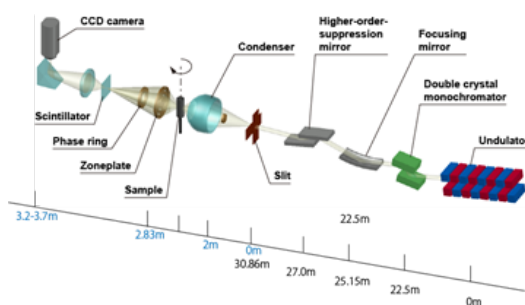


図 1 NW2A に導入した CT 装置の概略図 図 2 荷重試験ステージ

[1]木村ら、日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポ 1D004 (2017)