

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02041

研究課題名(和文) 回転体ミラーによる次世代軟X線ナノビーム形成法の開発

研究課題名(英文) Development of advanced soft x-ray focusing system with a symmetric rotational mirror

研究代表者

三村 秀和 (Mimura, Hidekazu)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：30362651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,800,000円

研究成果の概要(和文)：様々なX線分析方法の性能の鍵を握る技術にX線集光がある。本研究では、X線の中でも波長1nm～10nmの軟X線領域を対象としたミラーによる集光技術の開発を目的としている。本研究では、回転体ミラーの形状精度を向上させるとともに、回転体ミラーを有効に活用することができるリング集光ミラーと回転体ミラーによる2段集光システムを提案した。

コンパクトな高次高調波軟X線光源を利用し、回転体ミラーの軟X線集光に関する基礎的な知見を蓄え、SPRING-8において回転体ミラーを用いた軟X線集光システムを構築した。2段集光システムを完成させサイズ200nm以下の軟X線集光を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ミラーによる軟X線集光システムは理論的な性能は高いが、その作製が困難であったため利用されていなかった。本研究により、ミラーの製造技術が大幅に進歩するとともに、実際に軟X線集光が実証され、今後、ミラーによる集光技術が普及すると考えている。その結果、多くのX線分析装置の性能が向上し、電池材料や半導体材料の新規開発に貢献する。

研究成果の概要(英文)： Various analysis methods using x-rays such as x-ray photoemission spectroscopy and x-ray absorption spectroscopy are indispensable for developing advanced materials. One of key technologies for improving the performance of these methods is x-ray focusing.

The purpose of this study is the development of mirror-based focusing soft x-rays whose wavelength ranges are from 1 nm to 10 nm. By employing a symmetric rotational mirror, it is possible to focus soft x-rays into a nanometer size. In this study, we improve the figure accuracy of the mirror and proposed two-stage soft x-ray focusing system in which a ring-focusing mirror and a symmetric rotational mirror are installed. We performed basic research on soft x-ray focusing with a mirror using high order harmonic generation source and constructed the two-stage soft x-ray focusing system at a beamline of SPRING-8. We confirmed the size of soft x-ray focused beam is less than 200 nm at a wavelength of 3 nm.

研究分野：超精密加工、X線光学

キーワード：X線集光 超精密加工 軟X線

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

レントゲンにより発見されたX線は物質の観察に欠かせない。例えば、X線回折により物質の原子構造を調べることができ、X線光電子分光法やX線吸収分光法により、物質の化学的な状態を調べることができる。こうしたX線を利用した分析の性能は、照射するX線の強度やサイズなどにより決定される。

強力なX線を利用できる放射光施設が世界各地で建設されている。また、ラボベースの小型のX線源の開発も著しい。強力なX線光源を活用するためには、それを有効に取り扱うためのX線光学素子が必要となる。特にX線を集光する集光素子開発は非集光に比べて大幅に集光強度を向上させることが可能となるため、これまで勢力的に研究開発が行われてきた。集光素子の中でもミラーによる集光技術は、光の集光効率、色収差(波長依存性)がないなど、優れた特徴を有する。しかしながらミラーの表面の形状に高い精度が要求される。波長が1Åレベルの硬X線領域ではミラーによる集光技術が確立しているが、波長が1nmレベルの軟X線領域は、ミラー形状が急峻に変化するため高精度な軟X線集光ミラーが実現していなかった。

2. 研究の目的

これまで当該研究グループは、軟X線集光を目的に回転体形状のミラーの開発を進めてきた。このミラーは、目的とする楕円形状の反転形状をもつマンドレルを作製し、電鍍法による形状転写によりミラーを作製する。研究開始時において波長10nmの高次高調波の1μmサイズの集光を確認していた。

本研究では、それまで開発したミラー製造技術をさらに高度化するとともにリング集光ミラーと回転体ミラーによる2段集光システムを開発することが目的である。回転体ミラーでは、中央部分の光が使えない問題があった。リング集光ミラーによりドーナツ状の照明ビームを形成することが可能であり光源からのX線を有効に活用できる。

3. 研究の方法

本研究では、2段集光システムを大型放射光施設SPring-8の軟X線ビームラインBL25SUに導入する。また、東京大学の高次高調波発生施設における既存の軟X線集光システムを利用し、高精度化された回転体ミラーの評価を実施することで効率的に研究を行う体制とした。

ミラーの高精度化は東京大学で実施し、ミラーの評価は高次高調波軟X線とSPring-8軟X線ビームラインの二か所で実施した。

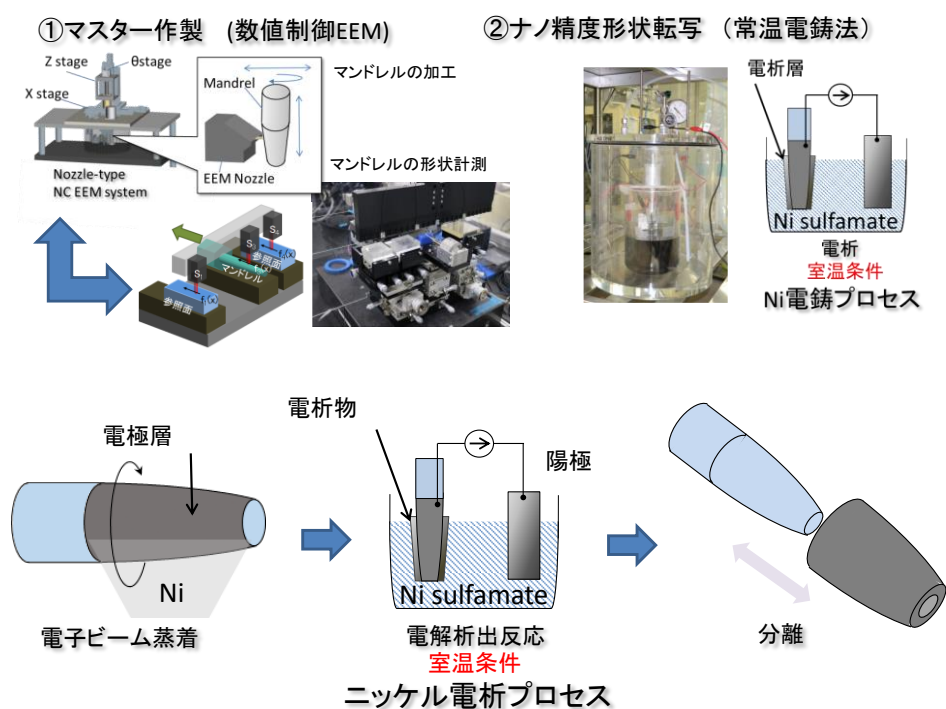


図1 高精度回転体ミラー作製プロセス

4. 研究の成果

(1) 回転体ミラーの作製に関する成果

図1は回転体ミラーの作製プロセスである。本研究では、マンドレルの作製の高度化、電鋳における転写精度の向上を行った。マンドレル作製では計測された形状誤差を修正するように加工を行う。計測法として複数のレーザープローブと真円度測定装置を開発した。電鋳法ではNi電析における電析条件の最適化を行い100nmレベルで形状転写技術を完成させた。以上の製造技術の改善の結果、回転体ミラーの3次元的な形状精度において100nmレベルの精度を持つミラーの作製に成功した。

(2) 高次高調波の集光に関する成果

作製した回転体ミラーを用いて高次高調波軟X線の集光実験を行った。図2は高次高調波施設において構築した光学系と得られた集光プロファイルである。ミラーの高精度化により、波長10nm~20nmの単色化していない高次高調波を350nmサイズにまで集光することに成功した。

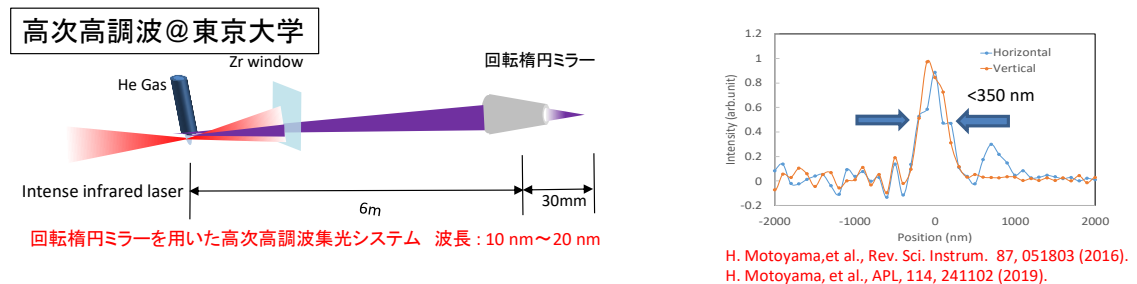


図2 高次高調波軟X線の集光システム

(3) SPring-8の軟X線集光に関する成果

高次高調波の集光の成果を活用し、SPring-8軟X線ビームラインBL25SUにおいても回転体ミラーによる軟X線集光実験を実施した。図3は、構築した光学系と得られた集光プロファイルである。集光ビームの評価には、焦点面上で正確な強度プロファイルを求めることができるタイコグラフィ法を利用している。これらの結果からSPring-8では、エネルギー300eVの軟X線を200nm以下に集光することに成功した。

さらに、SPring-8ではリング集光ミラーと回転体ミラーによる2段集光システムの開発を行っている。2段集光システムにおいても200nm以下の集光サイズを確認している。

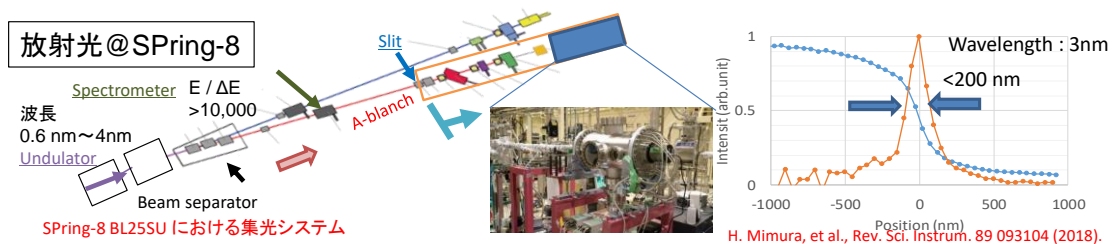


図3 SPring-8 軟X線ビームラインBL25SUにおける軟X線集光

3. 今後の展開

本研究により高精度回転体ミラーの製造技術が確立するとともに、高次高調波およびSPring-8の軟X線のナノ集光を確認した。さらにリング集光ミラーと回転体ミラーによる2段集光システムも完成させている。波長が1nmレベルであれば、理想的な回折限界集光サイズは50nmを下回る。これを実現するためには回転体ミラーの高精度化が不可欠である。今後、回転体ミラーの内面修正システムを完成させ、更なる回転体ミラーの高精度化を目指す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 武井 良憲, 三村 秀和	4. 巻 83(6)
2. 論文標題 軟X線回転体ミラーのマンデルレル作製システムの開発（第2報）	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 585-592
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.2493/jjspe.83.585	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Motoyama, M. Nagayama, and H. Mimura	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Differential deposition for producing microstructure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takahiro Saito, Yoko Takeo, and Hidekazu Mimura	4. 巻 56
2. 論文標題 Precise characterization of focused vortex beams	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 92501
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.7567/JJAP.56.092501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 H. Motoyama, S. Owada, K. Tono, T. Koyama, H. Ohashi, M. Yabashi, and H. Mimura	4. 巻 10386
2. 論文標題 Optical design of a sub-1- μm focusing system for soft x-ray free electron lasers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceeding of SPIE	6. 最初と最後の頁 1038609
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi: 10.1117/12.2271282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kume, Y. Takei, S. Egawa, G. Yamaguchi, H. Motoyama, and H. Mimura,	4. 巻 10385
2. 論文標題 Three-dimensional Shape Measurement for X-ray Ellipsoidal Mirror	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceeding of SPIE	6. 最初と最後の頁 103850
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1117/12.2273666	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Motoyama, T. Sato, A. Iwasaki, S. Egawa, K. Yamanouchi, and H. Mimura	4. 巻 87
2. 論文標題 Development of high-order harmonic focusing system based on ellipsoidal mirror	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 51803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1063/1.4950735	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 G. Yamaguchi, T. Kume, H. Mimura	4. 巻 22
2. 論文標題 A Fundamental Study of Local Electrochemical Nano-processing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Electrical Machining	6. 最初と最後の頁 36-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 武井良憲, 三村秀和	4. 巻 83(3)
2. 論文標題 軟X線回転体ミラーのマンドレル作製システムの開発 (第1報) - 周方向修正加工システムの開発 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 245-250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.2493/jjspe.83.245	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三村秀和	4. 巻 27(2)
2. 論文標題 高精度回転楕円ミラーによる高強度EUV・軟X線ビーム形成	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 光アライアンス	6. 最初と最後の頁 45-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三村秀和	4. 巻 84(9)
2. 論文標題 高精度電鍍法の開発と軟X線集光ミラーの作製	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 721-725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三村秀和	4. 巻 85 (11)
2. 論文標題 ナノ精度表面製造法とX線集光ミラー	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 957-961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 三村秀和	4. 巻 51 (126)
2. 論文標題 電鍍法による高精度表面転写プロセスの開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電気加工学会誌	6. 最初と最後の頁 147-151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Egawa, T. Kume, Y. Takeo, Y. Takei, H. Motoyama and H. Mimura	4. 巻 9687
2. 論文標題 Evaluation of figure accuracy of Wolter mirror fabricated by electroforming	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceeding of SPIE	6. 最初と最後の頁 968705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1117/12.2243422	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kume, S. Egawa, G. Yamaguchi, and H. Mimura	4. 巻 42
2. 論文標題 Influence of Residual Stress of Electrodeposited Layer on Shape Replication Accuracy in Ni Electroforming	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Procedia. CIRP	6. 最初と最後の頁 783-787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.319	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Motoyama, M. Nagayama, and H. Mimura	4. 巻 42
2. 論文標題 Development of an Ion Beam Sputter Deposition System for Producing Complex-Shaped X-ray Mirrors	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Procedia CIRP	6. 最初と最後の頁 512-515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Takei, H. Mimura	4. 巻 9962
2. 論文標題 Development of surface profiler for master mandrel of x-ray ellipsoidal mirror	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceeding of SPIE	6. 最初と最後の頁 99620C
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1117/12.2235314	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Motoyama and H. Mimura	4. 巻 48
2. 論文標題 Two-stage reflective optical system for achromatic 10 nm x-ray focusing	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.	6. 最初と最後の頁 244002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1088/0953-4075/48/24/244002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Kume, S. Egawa, and H. Mimura	4. 巻 21
2. 論文標題 Development of internal stress measurement technique for Ni electroforming using Shack-Hartmann sensor	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of Electrical Machining	6. 最初と最後の頁 25-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.2526/ijem.21.25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Mimura, Y. Takei, T. Saito, T. Kume, H. Motoyama, S. Egawa, Y. Takeo, T. Higashi,	4. 巻 9588
2. 論文標題 Development of ellipsoidal focusing mirror for soft x-ray and extreme ultraviolet light	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Proceeding of SPIE	6. 最初と最後の頁 95880L
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1117/12.2187455;	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Takeo, T. Saito, H. Mimura	4. 巻 9588
2. 論文標題 Evaluation of surface figure error profile of ultra-precise ellipsoidal mirror for soft X-ray focusing	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceeding of SPIE	6. 最初と最後の頁 95880A
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1117/12.2188824	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Motoyama, A. Iwasaki, Y. Takei, T. Kume, S. Egawa, T. Sato, K. Yamanouchi, H. Mimura	4. 巻 114
2. 論文標題 Broadband nano-focusing of high-order harmonics in soft X-ray region with ellipsoidal mirror	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 241102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5091587	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Takeo, A. Suzuki, H. Motoyama, Y. Takei, T. Kume, Y. Matsuzawa, Y. Senba, H. Kishimoto, H. Ohashi, H. Mimura	4. 巻 116
2. 論文標題 Soft x-ray nanobeam formed by an ellipsoidal mirror	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 121102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5144932	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Takeo, H. Motoyama, Y. Senba, H. Kishimoto, H. Ohashi, and H. Mimura	4. 巻 26
2. 論文標題 Probing the spatial coherence of soft X-ray beams with Fresnel mirrors at BL25SU of SPring-8	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Synchrotron Radiation	6. 最初と最後の頁 756-761
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600577519002583	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計66件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 T. Kume, Y. Takei, S. Egawa, G. Yamaguchi, H. Motoyama, and H. Mimura
2. 発表標題 Three-dimensional Shape Measurement for X-ray Ellipsoidal Mirror
3. 学会等名 2017 SPIE Optics + Photonics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Kume, Y. Takei, S. Egawa, G. Yamaguchi, H. Motoyama, and H. Mimura
2 . 発表標題 Replication Accuracy of Electroforming Process for X-ray Ellipsoidal Mirror
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics and Application 2017 (XOPT'2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Egawa, H. Motoyama, A. Iwasaki, K. Yamanouchi, H. Mimura
2 . 発表標題 Construction of a soft x-ray transmission microscope for evaluation of Wolter mirror optics
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2017 (XOPT2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Egawa, Y. Takei, Y. Matsuzawa, H. Motoyama, T. Kume, Y. Takeo and H. Mimura
2 . 発表標題 Fabrication process of precise mandrel for Wolte mirror
3 . 学会等名 The 24th Congress of the International Commission for Optics (ICO-24) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 G. Yamaguchi, T. Kume, H. Mimura
2 . 発表標題 Fabrication of Ellipsoidal Mirror by Cu Electroforming
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics and Applications 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 G. Yamaguchi, T. Kume, H. Mimura
2. 発表標題 Fabrication of Cu-electroformed Mirrors for X-ray Focusing
3. 学会等名 7th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Yokomae, H. Motoyama, and H. Mimura
2. 発表標題 Development of differential deposition method for inner surfaces of ellipsoidal x-ray mirrors
3. 学会等名 7th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口豪太, 久米健大, 三村秀和
2. 発表標題 精密銅電鍍法の転写精度に及ぼす電析条件の影響, 2018年度精密工学会春季大会学術講演会
3. 学会等名 2018年度精密工学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横前俊也, 本山央人, 三村秀和
2. 発表標題 イオンビームスパッタ成膜による回転体ミラーの内面形状修正
3. 学会等名 2017年度精密工学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横前俊也, 本山央人, 三村秀和
2. 発表標題 回転体X線ミラー内面への追加成膜プロセスの開発
3. 学会等名 第14回X線結像光学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横前俊也, 本山央人, 三村秀和
2. 発表標題 軟X線集光用回転楕円ミラーの高精度化 -直接的形状修正法の開発と実証-
3. 学会等名 第31回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横前俊也, 本山央人, 三村秀和
2. 発表標題 回転楕円軟X線ミラー内面形状修正法の開発 -ミラー内面修正性能の評価-
3. 学会等名 2018年精密工学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本山央人, 大和田成起, 久米健大, 山口豪太, 犬伏雄一, 登野健介, 小山貴久, 江川悟, 大橋治彦, 矢橋牧名, 三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラーを用いた軟X線自由電子レーザー集光システムの開発
3. 学会等名 第31回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Motoyama, and H. Mimura
2 . 発表標題 Focusing EUV light with ellipsoidal mirror
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2017 (XOPT2017)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Motoyama, and H. Mimura
2 . 発表標題 Development of EUV focusing system based on ellipsoidal mirror
3 . 学会等名 2017 SPIE Optics + Photonics
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Motoyama, A. Iwasaki, T. Sato, H. Mimura, and K. Yamanouchi
2 . 発表標題 Focusing EUV high-order harmonics at the diffraction limit
3 . 学会等名 14th International conference on multiphoton processes
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 S. Egawa, T. Kume, Y. Takeo, Y. Takei, H. Motoyama and H. Mimura
2 . 発表標題 Replication result of Wolter mirror for soft x-ray microscopy by electroforming
3 . 学会等名 The 8th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Y. Takei, H. Mimura
2 . 発表標題 Development of a surface profiler for mandrel of ellipsoidal soft x-ray focusing mirror
3 . 学会等名 2016 Optics + Photonics (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 H. Motoyama, M. Nagayama, and H. Mimura
2 . 発表標題 Development of an Ion Beam Sputter Deposition System for Producing Complex-Shaped X-ray Mirrors
3 . 学会等名 18th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM XVIII) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Kume, S. Egawa, G. Yamaguchi, and H. Mimura
2 . 発表標題 Influence of Residual Stress of Electrodeposited Layer on Shape Replication Accuracy in Ni Electroforming
3 . 学会等名 18th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM XVIII) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 H. Motoyama, T. Sato, A. Iwasaki, Y. Takeo, Y. Senba, H. Ohashi, K. Yamanouchi, and H. Mimura
2 . 発表標題 Current status of the development of two-staged focusing system for soft X-ray lasers
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2016 (XOPT2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 S. Egawa, T. Kume, Y. Takei, Y. Takeo, H. Motoyama and H. Mimura
2 . 発表標題 Current status of development of ultraprecise Wolter mirror for soft X-ray microscopy
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2016 (XOPT2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Y. Takeo, H. Motoyama, Y. Senba, H. Kisimoto, H. Ohashi and H. Mimura
2 . 発表標題 Evaluation of degree of spatial coherence at a soft X-ray beamline of SPring-8
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2016 (XOPT2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Y. Takeo, T. Saito and H. Mimura
2 . 発表標題 Wavefront measurement using ptychographic phase retrieval for evaluating figure and alignment errors of ellipsoidal mirror
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2016 (XOPT2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Kume, S. Egawa, Y. Takeo, and H. Mimura
2 . 発表標題 Electroforming process specialized for fabrication of x-ray ellipsoidal mirror
3 . 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2016 (XOPT2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Takei, T. Higashi and H. Mimura
2. 発表標題 Development of figure correction system for master mandrel of ellipsoidal x-ray mirror,
3. 学会等名 International Conference on X-ray Optics, Detectors, Sources, and their Applications 2016 (XOPT2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Kume, G. Yamaguchi, and H. Mimura
2. 発表標題 Development of Pulse Electrodeposition for Removal of Hydrogen Bubbles Adhering to Cathode
3. 学会等名 Electrochemistry 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山口豪太, 久米健大, 三村秀和
2. 発表標題 常温Ni電鍍におけるパルス電析条件の検討
3. 学会等名 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 武井良憲, 松澤雄介, 三村秀和
2. 発表標題 X線集光用回転楕円ミラーマンドレル作製プロセスの開発
3. 学会等名 2016年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山口豪太, 久米健大, 三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラーの作製のための高精度電鍍法の開発
3. 学会等名 第30回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三村秀和, 本山央人, 竹尾陽子, 武井良憲, 松澤雄介, 久米健大, 仙波泰徳, 岸本輝, 大橋治彦
2. 発表標題 回転楕円ミラーによる軟X線集光
3. 学会等名 第30回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤貴宏, 竹尾陽子, 江川悟, 三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラー評価のための高精度波面計測装置の開発
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松澤雄介, 三村秀和
2. 発表標題 高分解能スティッチング干渉計測における高精度つなぎ合わせ角度決定法
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本山央人、岩崎純史、佐藤堯洋、武井良憲、久米健大、江川悟、山内薫、三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラーによる高次高調波集光システムの開発
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西岡勇人、本山央人、三村秀和
2. 発表標題 ピンホール成膜による高分解能形状修正成膜法の開発
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口豪太、久米健大、三村秀和
2. 発表標題 銅電析による高精度電鍍法の開発
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久米健大、武井良憲、三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラー用マンドレルの3次元高精度形状計測法の開発
3. 学会等名 2017年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三村秀和
2. 発表標題 高精度回転楕円ミラーによる軟X線ナノ集光
3. 学会等名 第76回ELIDセミナー（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三村秀和
2. 発表標題 高精度X線ミラー製造のための超精密形状計測法
3. 学会等名 H28年度長さクラブ講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三村秀和
2. 発表標題 高精度ミラーを用いた軟X線のナノ集光
3. 学会等名 物性研究所短期研究会「新世代光源で切り拓く物質科学と生命科学の融合領域」（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三村秀和
2. 発表標題 ナノ精度コピーによる超高精度ミラー作製
3. 学会等名 科学技術振興機構 新技術説明会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Kume, S. Egawa, and H. Mimura
2 . 発表標題 Effect of Electrodeposition Conditions on Replication Accuracy of Electroforming
3 . 学会等名 EUSPEN 15th International Conference (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 H. Motoyama, T. Sato, A. Iwasaki, S. Egawa, K. Yamanouchi, and H. Mimura
2 . 発表標題 High-order Harmonics Focusing with Ellipsoidal Mirror in Soft X-ray Region
3 . 学会等名 International Workshop on X-Ray Optics and Metrology (IWXM2015) (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 H. Mimura, Y. Takei, T. Saito, T. Kume, H. Motoyama, S. Egawa, Y. Takeo, T. Higashi
2 . 発表標題 Development of ellipsoidal focusing mirror for soft x-ray and extreme ultraviolet light
3 . 学会等名 2015 Optics + Photonics (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 Y. Takeo, T. Saito, H. Mimura
2 . 発表標題 Evaluation of surface figure error profile of ultra-precise ellipsoidal mirror for soft X-ray focusing
3 . 学会等名 2015 Optics + Photonics (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1. 発表者名 Y. Takeo, T. Saito, H. Mimura
2. 発表標題 Ptychographic phase retrieval method for characterizing ultra-precise ellipsoidal mirrors
3. 学会等名 SPIE Optifab 2015
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 久米健太、江川悟、山口豪太、三村秀和
2. 発表標題 電析膜の内部応力測定と電鍍法の形状転写性能評価
3. 学会等名 2015年度精密工学会秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 本山央人、長山光、三村秀和
2. 発表標題 イオンビームスパッタ成膜法による回転楕円ミラーの内面形状修正装置の開発
3. 学会等名 2015年精密工学会秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 長山光、本山央人、三村秀和
2. 発表標題 ピンホールマスクを用いた高分解能形状修正成膜手法の開発修正装置の開発
3. 学会等名 2015年精密工学会秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 江川悟、久米健大、竹尾陽子、斎藤貴宏、武井良憲、三村秀和
2. 発表標題 軟X線結像用ウォルターミラーの作製と形状精度の評価
3. 学会等名 2015年精密工学会秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 武井良憲、東隆裕、三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラー用マンドレルの形状計測装置の開発とその形状修正加工
3. 学会等名 2015年度精密工学会秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 本山央人、佐藤堯洋、岩崎純史、江川悟、山内薫、三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラーによる軟X線集光システムの開発
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2015
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 江川悟、久米健大、武井良憲、竹尾陽子、斎藤貴宏、三村秀和
2. 発表標題 軟X線結像用ウォルターミラーの形状評価と結像性能の予測
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2015
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 竹尾陽子、齋藤貴宏、三村秀和
2. 発表標題 タイコグラフィ位相回復法による集光波面計測の高精度化
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2015
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 本山央人、佐藤堯洋、岩崎純史、江川悟、山内薫、三村秀和
2. 発表標題 回転楕円ミラーによる高次高調波集光システムの開発と自由電子レーザーへの展開
3. 学会等名 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長山光、本山央人、三村秀和
2. 発表標題 複雑な形状を有するX線ミラー作製のための高分解能形状修正成膜法の開発
3. 学会等名 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 江川悟、竹尾陽子、本山央人、久米健大、武井良憲、三村秀和
2. 発表標題 軟X線結像のためのウォルターミラーの開発
3. 学会等名 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 武井良憲, 久米健大, 竹尾陽子, 三村秀和
2. 発表標題 高精度マンドレル作製と高精度形状転写による軟 X 線回転楕円ミラーの作製
3. 学会等名 第29回日本放射光学会年会・放射光科学シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹尾陽子, 本山央人, 仙波泰徳, 岸本 輝, 大橋治彦, 三村秀和
2. 発表標題 フレネルミラー光学系による軟X線ビームの空間コヒーレンス評価
3. 学会等名 第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長山光, 本山央人, 三村秀和
2. 発表標題 ピンホールマスクを用いた高分解能形状 修正成膜法の開発 第 2 報-数値制御シ ステムによる任意形 状創成-
3. 学会等名 2016年精密工学会春季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹尾陽子, 齋藤貴宏, 三村秀和
2. 発表標題 位相回復法を用いた楕円ミラーの形状計測高精度化
3. 学会等名 2016年度精密工学会春季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三村秀和
2. 発表標題 軟X線用回転体集光ミラー開発の現状と今後の展開
3. 学会等名 X線ナノ集光技術研究会2015（招待講演）
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 三村秀和
2. 発表標題 極限集光光学システムによる超高強度X線パルスの実現
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第36回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三村秀和
2. 発表標題 放射光ナノビーム開発の現状と展望
3. 学会等名 東北放射光施設（SLiT-J）利用分野調査検討ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 竹尾陽子，鈴木明大，仙波泰徳，岸本輝，大橋治彦，三村秀和
2. 発表標題 軟X線タイコグラフィを用いた回転楕円ミラーの形状評価
3. 学会等名 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹尾陽子, 鈴木明大, 仙波泰徳, 岸本輝, 大橋治彦, 三村秀和
2. 発表標題 転楕円ミラーによるナノ集光ビームを用いた軟X線タイコグラフィ顕微鏡の開発
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 精密電鍍法のための気泡除去方法	発明者 山口豪太、三村秀和	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-096795	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 精密電鍍法のための気泡除去方法	発明者 久米健大、三村秀和	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-113951	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 高NA集光素子の出口波面計測方法及び出口波面計測システム	発明者 竹尾陽子、三村秀和	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2015-158575	出願年 2015年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考