

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月12日現在

機関番号：24506

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760029

研究課題名（和文） 13nm高次高調波の時間コヒーレンス100倍改善法の開発

研究課題名（英文） Development of coherence diffraction imaging for high-harmonic-generation EUV source

研究代表者

原田 哲男（HARADA TETSUO）

兵庫県立大学・高度産業科学技術研究所・助教

研究者番号：30451636

研究成果の概要（和文）：波長 13.5 nm の EUV でのレンズレス顕微鏡用の観察手法を開発した。対象とする試料は半導体回路の原板となる EUV マスクである。回折画像からの像再生アルゴリズムとして、タイコグラフィ法を適用し、位相構造を含むパターン観察に成功した。また、スタンドアロン光源として用いる高次高調波で不足する時間コヒーレンスを改善するため、回折格子の開発を進めた。

研究成果の概要（英文）：Image reconstruction method for a lensless microscope was developed to observe EUV-mask patterns. The microscope equipped with standalone EUV source of high harmonic generation, which temporal coherence was not enough to reconstruct the pattern image. To improve the coherence, we fabricated a grating for a monochromator.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：①応用光学，②EUV，③高次高調波，④コヒーレンス，⑤コヒーレント回折イメージング

1. 研究開始当初の背景

量産適用間近の EUV リソグラフィではマスクに反射多層膜がコートされた反射型マスクが用いられる。反射型マスクでは特有の位相欠陥が発生するが、現状ではゼロとすることができない。転写特性に影響を与える影響を評価するため、実露光波長での観察手法が必要とされている。そこで、我々はレンズレス顕微鏡であるコヒーレントスキャトロメトリー顕微鏡（CSM）を開発している。コヒーレント光と CCD カメラからなるシンプル

な構成のため、リソグラフィの早い開発スピードに対応可能である。これまでライン/スペース（L/S）やホールなどの周期パターンからの回折光画像を、HIO アルゴリズムにより位相回復し、像として得ていた。しかし、非周期パターンの再生が困難であった。

マスクショップやデバイスメーカーが利用するためには、スタンドアロン装置である必要がある。そこで光源にはスタンドアロン光源である高次高調波 EUV 光源を採用している。高次高調波はパルスレーザーの非線形波長

変換であるため、空間コヒーレンスは非常に良い。しかし、時間コヒーレンスは高分解能を得るためには不足している。

2. 研究の目的

本研究ではCSMによるパターン観察のための像再生アルゴリズム開発と、不足するコヒーレンス改善のための回折格子製作を目的とする。

3. 研究の方法

像再生アルゴリズムの開発と検証にはニューズバル放射光施設に設置している、CSMの原理検証機を利用する。回折格子の製作には電子線描画装置を用い、高次高調波の分光に必要な領域に対してL/Sパターンを製作する。

4. 研究成果

(1) 像再生アルゴリズムの開発

HIO アルゴリズムでは照明の分布がフラットでないことが、非周期パターンの像再生を困難としていた。そこで照明分布も像再生に含めることが可能なタイコグラフィ法を適用して像再生した。(雑誌論文②) 図1, 2に非周期パターンをタイコグラフィ法によって像再生した結果を示す。照明形状は既知のパターン部分を用いてあらかじめ導出している。

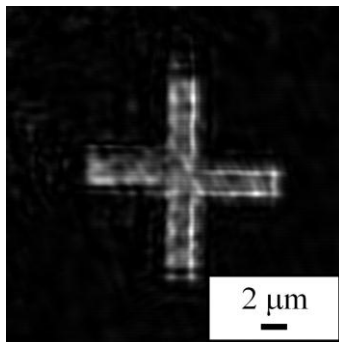


図1. 十字パターンの再生像.

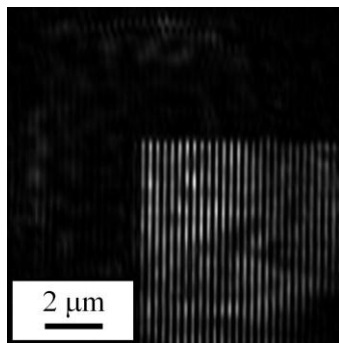


図2. 128 nm L/S パターン端の再生像.

また、レンズレス顕微鏡では回折画像の位相

を反復計算により得るため、実空間の位相像も同時に得ることができる。基板が5 nm凸となったサンプルを観察した結果の強度像と位相像を図3, 4に示す。

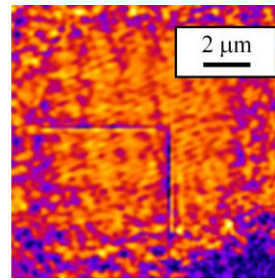


図3. 位相構造の強度再生像.

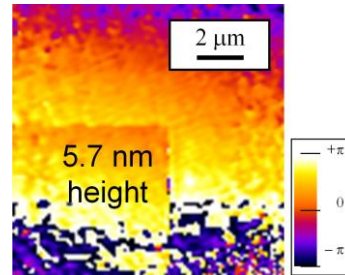


図4. 位相構造の位相再生像

強度像では、境界部分のみが像再生されているが、位相像では凸部分を観察できている。再生結果から得られた高さは5.7 nmであり、設計値と良く一致した。このように、EUVマスクの観察に適した像再生アルゴリズムの開発に成功した。

(2) 低散乱基板の選定

CSMでは入射ピンホール像をEUVマスク上に凹面基板と折り返しミラーを用いてリレーする。そのため、これらのミラーの散乱が大きいとスペックルが生じ、像再生やパターン幅評価におけるノイズ成分となる。CSMは回折/散乱画像を直接記録するため、粗さの評価にも使用可能である。そこで国内外3社の基板からの回折/散乱光を記録し、EUVでの散乱光を評価した。その結果、ドイツ製のガラス基板からの散乱光がCSMでの検出限界以下で有ることが確認できた。そこでCSM用のミラー光学系をこの基板に交換したところ、回折光強度の評価誤差を数%から0.1%に低減することができた。また、同じ基板を高次高調波の分光光学系にも利用する。

(3) 高次高調波用の分光光学系の構築

高次高調波の空間コヒーレンスを改善するには多層膜回折格子による分光光学系が適している。そのためには光源像を回折格子により分散させ、出射ピンホール上に集光する必要がある。そこで図5に示す高次高調波CSMシステムにおいて、分岐・集光・分光光

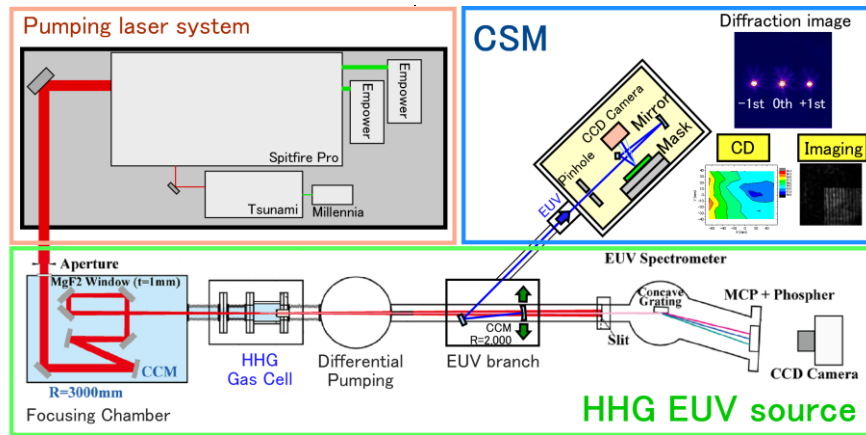


図5. 高次高調波 CSM の構成図. ガスセルの下流で分光器 MCP チャンバーとの分岐・集光をする. 平面折り返しミラーを多層膜回折格子とすることで分光する.

学系を構築した. ガスセルにて発生した高次高調波を曲率半径 2 m の分岐多層膜ミラーにて折り返す. 折り返された光を入射角 24° の多層膜ミラーにて, CSM チャンバーへ導く. ガスセル像を凹面鏡により CSM チャンバー内のピンホールへ等倍でリレーする光学系である. 24° 折り返しミラーを多層膜回折格子にすることで高次高調波を分散させ, 出射ピンホールにより単色化された光を取り出す.

高次高調波 CSM にて測定した回折光画像を図 6 に示す. (雑誌論文①)

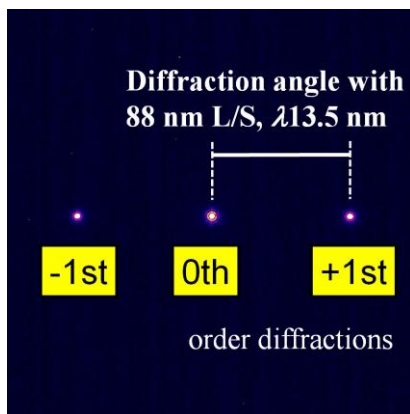


図6. 高次高調波 CSM で測定した 88 nm L/S パターンの回折光画像.

測定サンプルは 88 nm L/S パターンである. ± 1 次回折光の記録位置は波長 13.5 nm に対応しており, EUV 光のみを取り出し測定することができた. また, 回折画像より見積もったスペクトル幅は $\lambda / \Delta \lambda \sim 54$ 程度であった.

(4) 回折格子の製作

高次高調波の発散角は 0.2 mrad 程度で有

り, 曲率半径 2 m の凹面鏡位置での光束広がり 0.8 mm である. よって, 1 mm 程度のパターン領域があれば良い. 電子線描画装置 (ELIONIX ELS-7500) にて 1.2 mm フィールドに 667 nm の L/S パターンを生成した結果を図 7 に示す.

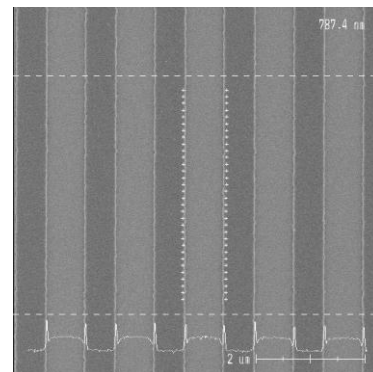


図7. L/S パターンの電子線露光結果.

1.2 mm の露光量域の中で, 一樣なパターンを生成することができた. 今後, エッチングの条件と多層膜成膜することで, このパターンを多層膜回折格子とする.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

① Masato Nakasuji, Akifumi Tokimasa, Tetsuo Harada, Yutaka Nagata, Takeo Watanabe, Katsumi Midorikawa, Hiroo Kinoshita, Development of Coherent Extreme-Ultraviolet Scatterometry Microscope with High-Order Harmonic Generation Source for Extreme-Ultraviolet Mask Inspection and Metrology, Jpn. J. Appl. Phys. **52**, 2012, in press. (査読有)

り)

② **Tetsuo Harada**, Masato Nakasuji, Teruhiko, Kimura, Takeo Watanabe, Hiroo Kinoshita, Yutaka Nagata, Imaging of EUV-mask patterns using coherent EUV scatterometry microscope based on coherent diffraction imaging, J. Vac. Sci. Technol. B **29**, 06F503, 2011. (査読あり) DOI: 10.1116/1.3657525

③ **Tetsuo Harada**, Masato Nakasuji, Masaki Tada, Yutaka Nagata, Takeo Watanabe, and Hiroo Kinoshita, Critical Dimension Measurement of an Extreme-Ultraviolet Mask Utilizing Coherent Extreme-Ultraviolet Scatterometry Microscope at NewSUBARU, Jpn. J. Appl. Phys. **50**, 06GB03, 2011. (査読あり) DOI: 10.1143/JJAP.50.06GB03

[学会発表] (計 14 件)

① **Tetsuo Harada**, Masato Nakasuji, Takeo Watanabe, Hiroo Kinoshita, Development of Standalone Coherent EUV Scatterometry Microscope with High-Harmonic-Generation EUV Source, Photo Mask Japan 2012, 2012/4/19, (Yokohama, Japan) (招待講演)

② **原田哲男**, 中筋正人, 渡邊健夫, 永田豊, 木下博雄, コヒーレントスキヤトロメトリー顕微鏡による EUV マスク検査, 第 11 回 X 線結像光学シンポジウム, 2011 年 11 月 4 日 (東北大学) (招待講演)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 哲男 (HARADA TETSUO)

兵庫県立大学・高度産業科学技術研究所・助教

研究者番号: 30451636