

多層膜ミラー結像系による EUV リソグラフィ用マスクの実波長観察 At-wavelength EUV lithography mask observation using a high-magnification objective consisting of three multilayer mirrors

東北大多元研¹, 兵庫県立大² ○豊田 光紀¹, 山添 健二郎¹, 羽多野 忠¹, 時政 明史², 原田 哲男², 渡邊 健夫², 木下 博雄², 柳原 美広¹.

IMRAM, Tohoku Univ.¹, Univ. of Hyogo², ○M. Toyoda¹, K. Yamasoe¹, T. Hatano¹, A. Tokimasa², T. Harada², T. Watanabe², H. Kinoshita², and M. Yanagihara¹.

E-mail: toyoda@tagen.tohoku.ac.jp

EUV リソグラフィ用のマスクの開発では、基板となる多層膜ミラーおよびミラー上に配置される吸収体パターン双方に生じる欠陥を検査するための顕微鏡システムが求められている。顕微鏡には、①動作波長 13.5 nm で、②最小線幅 40nm の吸収体パターンを解像しつつ、③マスク全面(対角長~210mm)をできる限り短時間で観察することが求められる。従来のゾーンプレート顕微鏡[1]は、原理的に生じる軸外収差により、また、Schwarzschild ミラー顕微鏡[2]は検出器として用いるズーミング管の制限により、それぞれ光軸近傍の狭い視野内(直径~10 μ m)でしか高分解能を得ることができず、マスク全面の短時間観察には困難が予想される。

我々は、100 μ m を超える広視野を高分解能で一括観察できる、多層膜ミラー結像系による顕微鏡システム(図 1)を開発している。顕微鏡は、New SUBARU のベンディングマグネット(BL3B)で生じた白色 EUV 光を用い、波長 13.5nm 用 Mo/Si 多層膜ミラーで構成した照明光学系(M5-M7)、および、拡大結像系(M1-M3)により、マスクの明視野反射像を CCD カメラ上に拡大投影する。拡大結像系は、Schwarzschild ミラー(開口数 0.25)の後段に凹面鏡を付加した 3 面鏡による 2 段拡大系を新たに考案[3]した。付加鏡(M3)は、2 段拡大により倍率を約 1480 倍に向上させると同時に、フィールドフラットナーとして軸外収差の 1 つである像面湾曲を良好に補正する。このため、新型 3 面鏡では、直径 160 μ m を超える広い視野内で、約 30nm の回折限界分解能が期待できる。

開発した顕微鏡による EUV リソグラフィ用マスクの観察例を図 2 に示す。図は CCD カメラの 17%の領域を拡大したもので、暗部は、TaBN 吸収層(厚さ 66nm)を、明部は Mo/Si 多層膜の開口部を示している。図右部の格子パターンの線幅は 88nm であり、1 秒程度の露光時間で格子像を明瞭に観察することが可能であった。講演では、マスクの広視野観察の結果に加え、新型結像系で生じる波面収差の評価結果についても述べる予定である。

文献

- 1) K. A. Goldberg, et.al, J. Vac. Sci. Technol. B **26** (2008) 2220.
- 2) K. Takase, et.al, Jpn. J. Appl. Phys. **49** (2010) 06GD07.
- 3) 豊田, 特開 2010-79257.

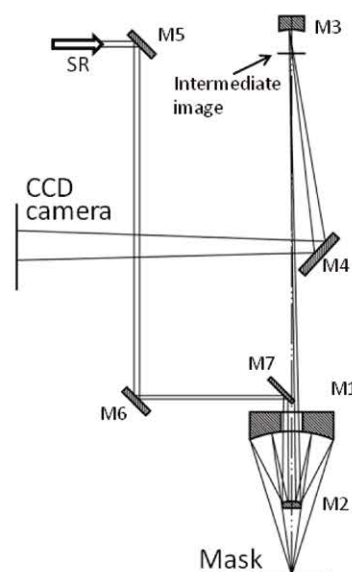


Fig. 1. A schematic layout of the EUV microscope.

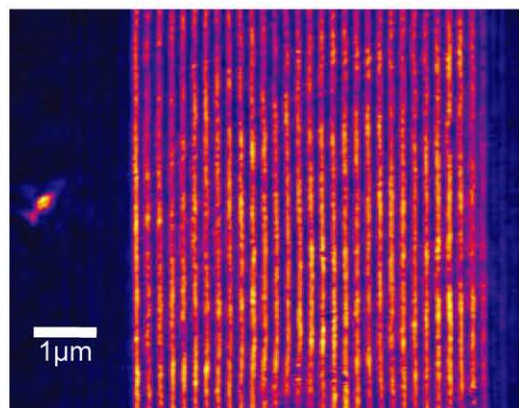


Fig. 2. A bright-field image of the EUV lithography mask.

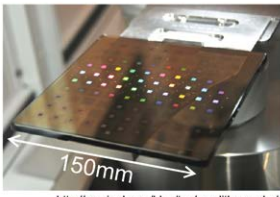


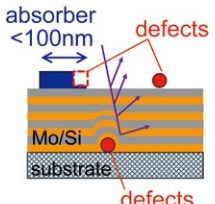
Outline

- 1. Motivation**
Early studies and technical issues
- 2. Experimental**
Innovative optics utilizing high-magnification
- 3. Highlight data**
EUVL mask images with improved resolution
- 4. Summary and future plans**

1. Motivation

At-wavelength inspection of EUVL mask



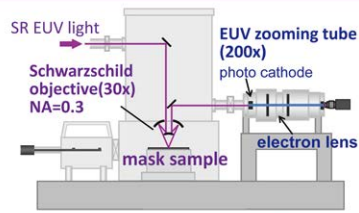


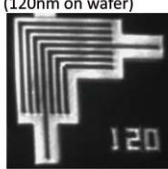
<http://semimd.com/blog/tag/euv-lithography/>

Requirements for an inspection tool

- ✓ At-wavelength observation ($\lambda=13.5\text{nm}$)
- ✓ High spatial resolution ($\delta<40\text{nm}$)
- ✓ Wide field of view for a rapid whole mask inspection

Early study: EUV Microscope on NewSUBARU



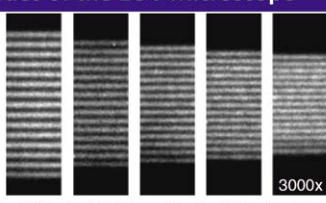


H. Kinoshita, Jpn. J. Appl. Phys. **49**(2010)06GD07.

EUV $\Rightarrow$ electron

- ✓ Bright field image at $\lambda=13.5\text{ nm}$
- ✓ Rayleigh's limit $\delta=30\text{ nm}$
- ✓ Field of view $\Phi=20\mu\text{m}$

Technical issues of the EUV Microscope

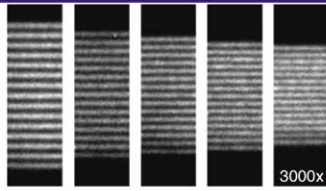


Half pitch	150	130	120	110	100 nm
Contrast	0.34	0.26	0.25	0.22	0.18

K. Takase et.al, Jpn. J. Appl. Phys **49** 3371 (2010).

- ✓ **Degraded resolution** resulting from aberrations of Schwarzschild objective.
- ✓ **Small field of view** limited by an electron lens of the zooming tube.

Technical issues of the EUV Microscope



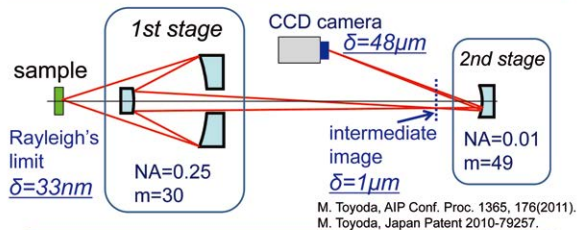
3000x

Aim of this work

- Innovative EUV imaging facility realizing both
- ✓ **high spatial resolution** for 22-nm node mask,
 - ✓ **wider field of view** for practical inspection time.

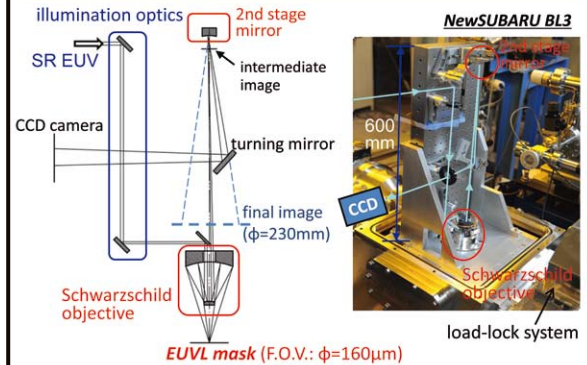
2. Experimental

Two-stage imaging system for high magnification



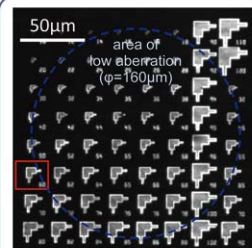
- ✓ Higher magnification ($m=1460$)
⇒ **Resolution of 30nm with EUV-CCD camera**
- ✓ Good correction of off-axis aberrations
⇒ **Large field of view over $\phi > 160\mu\text{m}$**

Experimental setup of the novel facility



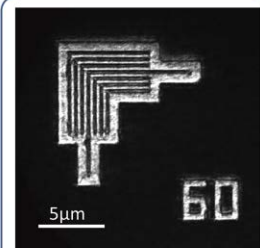
3. Highlight data

Confirmation of the magnification enhancement



Intermediate image ($m=30$)

Exp. time: 0.25 sec.



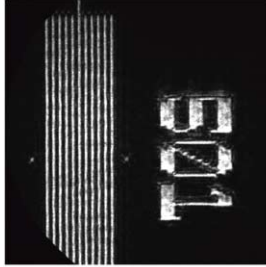
Final image ($m=1460$)

Line width: 240nm (60nm)
Exp. time: 36 sec.

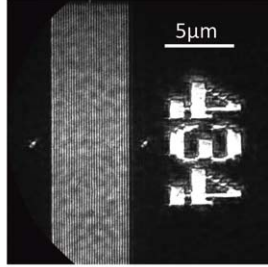
EUV-CCD camera: pixel size $13.5\mu\text{m}$, 2048×2048 pixels

Resolution measurement with L/S patterns

High magnification images ($m=1460$)



Line width: 225nm (56nm)
Exp. time: 10s



Line width: 88nm (22nm)
Exp. time: 100s

4. Summary

- ✓ A high magnification EUV microscope based on all-reflective objective is proposed.
- ✓ The objective is expected to have a large field of view of 160 μm .

Future plans

- ✓ Detailed estimation of the resolution
- ✓ Upgrade of the facility
 - An illumination optics with uniform intensity, coherence control*
 - A large scale EUV-CCD camera for practical application*
- ✓ Lab-scale inspection tool with a plasma light source

Special thanks to

Technical support from

- **Optical shop and machine shop of IMRAM**
- **T. Terasawa and T. Amano of EIDEC**

Financial support from

- **Japan Science and Technology Agency (JST)**
- **New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)**

Thank you for your attention.

