

EUV 露光技術の開発と放射光の役割

岡崎信次 技術研究組合 超先端電子技術開発機構
〒135-8073 東京都江東区青海 2-45 タイム24ビル10F

要旨 光リソグラフィの解像限界を突破する技術として、EUV (Extreme Ultra-Violet) 光を用いた露光技術が注目されている。本技術によれば、ナノメータ領域の量産加工技術も見えてくるが、開発課題も多い。EUV 露光の光源として、放射光を用いることは無いが、露光光学系の計測評価、実験用露光装置、反射率の高精度な計測評価、コンタミネーション評価等、その技術開発に放射光が多用されている。EUV 露光技術の開発経緯と、現状の開発状況について、主に放射光の果たしている役割を中心に紹介する。

1. はじめに

半導体集積回路の高集積化、半導体素子の微細化は、リソグラフィ技術の発展によって支えられて来た¹⁾。現在、最先端の半導体素子は、既に100 nm より微細な、ナノメータ加工の領域に到達しており、ArF エキシマレーザを光源としたスキャナーを用いて製作されている。しかし、こういった光を用いる露光技術では、解像限界が近づいており、さらに微細な45 nm レベル以降の加工が難しいとされている。この45 nm 以降の微細な寸法を加工するために、波長13.5 nm の光 [EUV (Extreme Ultra-Violet) 光と呼ばれる] を用いた露光技術が提案されている^{2,3)}。露光方式は、従来の光露光方式と同じ、縮小投影型の露光方式を用いる。量産に対応できるナノテクノロジーと言っても、過言では無いだろう。13.5 nm の光は、一般的には軟 X 線領域の光であるが、EUV 光とした理由は次の通りである。すなわち、米国の国立研究所でこの技術の開発予算を、“縮小 X 線露光技術”として提案した所、“X 線にはすでに多くの予算を投じている”とのエネルギー総省の意見があった。このため、通常の X 線と区別する目的で EUV (Extreme Ultra-Violet) という言葉が造語されたこのことである。

従来から研究されている、X 線等倍転写技術では、光源として放射光が期待されていたが、EUV 露光技術においては、放射光では光量が足りないため、レーザー励起型プラズマ (LPP) 光源やガス放電型プラズマ (GDPP) 光源が、量産用露光装置には期待されている^{4,5)}。しかし、研究用の露光装置の光源や、光学系の波面計測用光源、さらに光学部品のコンタミネーション評価等に、放射光が多用されている⁶⁻⁷⁾。現在、我が国における EUV 研究は、露光装置、計測技術と光源の研究が、技術研究組合、超紫外線露光システム技術研究機構 (EUVA) で行われ、マ

スクとレジストプロセスの研究が、技術研究組合、超先端電子技術開発機構 (ASET) で行われている。以下放射光を用いた EUV 露光技術の開発状況について紹介する。

2. EUV 露光技術の概要

EUV 露光技術は、先にも述べたように、通常の光露光方式と同様の、縮小投影露光方式をとる。従って、解像度は、次に示す、いわゆるレーリーの式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA$$

ここで R は解像度、 k_1 は比例定数、 λ は露光波長、NA は投影光学系の開口数である。現在最先端の光露光装置で用いられている露光波長が ArF エキシマレーザの193 nm であるから、EUV 露光は、1 桁以上の短波長化となる。

しかし、EUV 光は全ての物質において吸収され、透過型の光学系、すなわちレンズ光学系が使えない。このため、全て反射型の光学系を用いることになる。しかも通常の金属反射面ではなく、多層膜を用いた反射面が必要となる。この多層膜を用いた反射面では、多層膜を構成する材料によって、反射する光の波長や反射率が変化する。EUV 露光に用いる場合、波長10~20 nm 付近で高い反射率を示す多層膜として、Mo/Be や Mo/Si の組み合わせがある。前者は、11.5 nm 付近で高い反射率を示し、ピーク反射率として理論的に80%程度を示す。一方、後者は、13.5 nm 付近にピークを持ち、70%程度の反射率を示す。**Fig. 1** に多層膜の反射特性を示す。この図からわかるように、反射率の高さからいえば、Mo/Be が良く、光源として検討されている Xe を用いたレーザープラズマ光源の発光ピーク波長とも近いため、米国の国立研究所を中心に、

大いに検討された。しかし、Mo/Be が Mo/Si に比べ、安定性が悪いことと、Be の持つ毒性が、工業用には適さないとの判断から、日、米、欧の工業界が反対し、Mo/Si が選択されたという経緯がある。

EUV 露光光学系は、Mo/Si の多層膜をコーティングした複数枚の反射ミラーから構成される。それぞれの多層膜の反射率は70%前後である。実用的な露光装置ではこの反射面を、照明光学系で少なくとも6枚、マスクで1枚、投影光学系で6枚、合計で13枚用いることが計画されている。Fig. 2 に6枚系の投影光学系の例を示す。これらの反射面数は、EUV 露光を適用する45 nm 以降の微細化に要求される精度を維持するために必要最小限の枚数とされている。また露光実験用の装置では、2枚—4枚の反射面を持った装置が開発されている^{9,10)}。

マスクは Fig. 3 に示すように、多層膜上に吸収体を設けた反射型のマスク構造となる。ここでの最大の課題は、多層膜の欠陥を如何に低減するかにある。基板となる多層膜は、通常の光マスクにおけるガラス基板と同様の役目を果たすことになり、多層膜部分に反射しない部分や、反射しても位相が変化するような欠陥があってはならない。しかし、多層膜中や多層膜上に欠陥や、異物があると、反射しない部分や、反射率が低下するなど、欠陥になる。さらに

基板の凹凸や、基板上的異物、多層膜中の異物や欠損により、反射率は変化しなくても、位相が変化する部分があると、欠陥となってしまう等、多層膜に特化した欠陥が考えられ、これを低減する必要がある。

これらの EUV 露光技術の課題を Fig. 4 にまとめる。光源、照明光学系、投影光学系、反射型マスク、レジストプロセス、そして装置技術に技術課題がある。これらの技術課題に関して、様々な研究機関で研究開発が進められている。以下、放射光を利用した技術開発状況について紹介する。

3. EUV 露光技術開発の歴史と、光源としての放射光

EUV 露光装置の研究は、全て放射光を用いて始まった。一つは我が国の NTT の Super-Alis を用いた NTT の研究者等の実験、続いて米国の Brook heaven 国立研究所の光源を用いた ATT の研究者等の実験がそれである^{2,3)}。さらに我が国では、高エネ研の放射光を用いた日立の研究者等の実験や、ソルテックの放射光を用いたニコンの研究者等の実験が続く^{11,12)}。これらの実験は全て、2枚の球面鏡を用いたシュバルツシルト露光光学系が用いられていた。その後米国では、プラズマ線源の研究が盛んになり、放射光を光源とする研究は下火になった。しかし、後述するように、EUV に関する様々な基礎的な実験は、

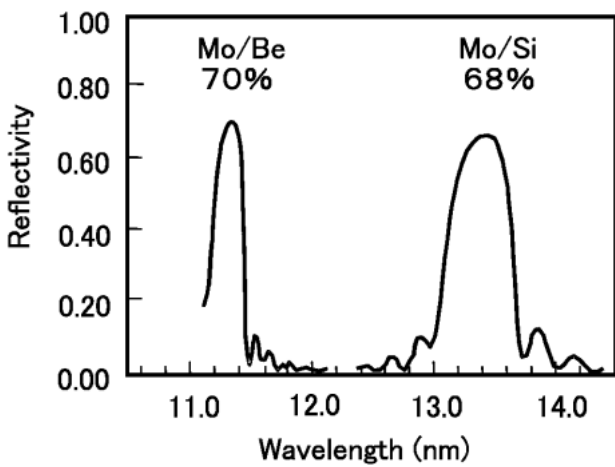


Fig. 1 Reflectivity of Multilayer Mirrors.

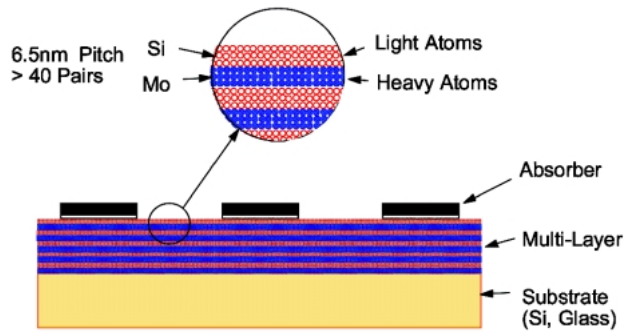


Fig. 3 Structure of Multilayer Mask.

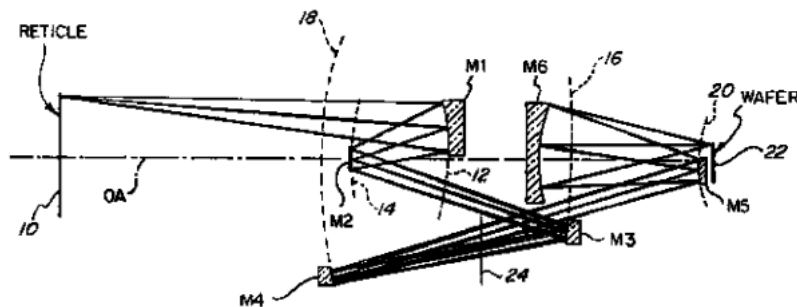


Fig. 2 An Example of 6 Mirror Exposure Optics.

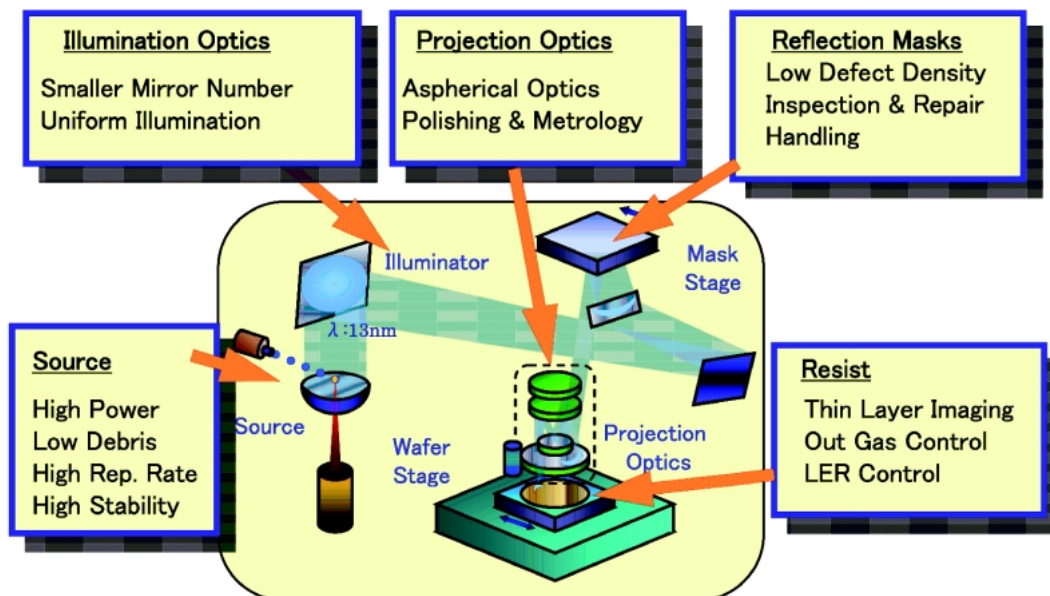


Fig. 4 Issues of EUV Exposure System.

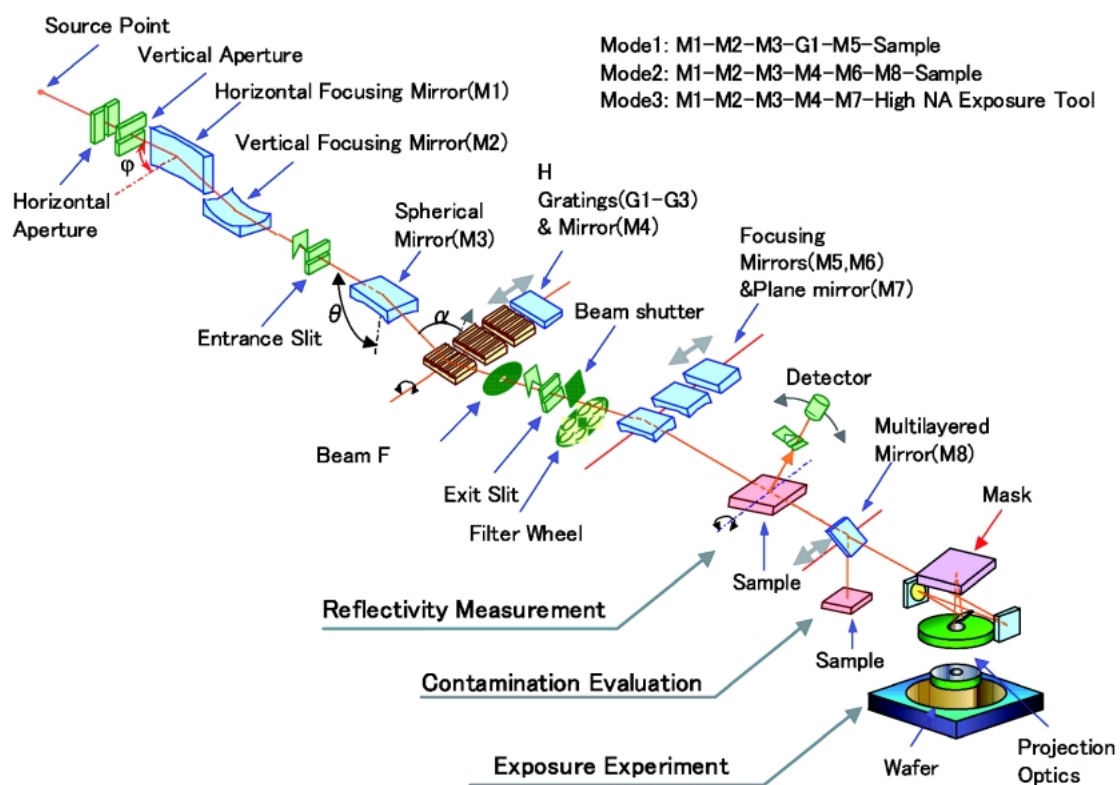


Fig. 5 Beamline of ASET for EUVL Development (NTT-Super ALIS).

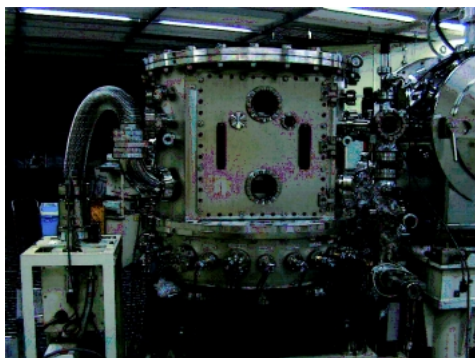
LBNLのALSで続けられ、最近では、新しい2枚の非球面光学系を用いた、MET (Misro Exposure Tool) と呼ばれる露光装置により露光実験が行われており、様々な成果をあげている¹³⁾。日本では、EUV研究が一時途絶えていたが、1998年に米国のEUVLLCの計画に触発されて、発足したASETのEUV研究室と、姫工大(現兵庫県立大)

の木下研究室で露光実験が再開された^{14,15)}。ASETでは、NTTのSuper-ALISを用い、1999年から、2枚の球面鏡からなるシュバルツシルト光学系を備えた露光実験装置が用いられた。2004年8月からは、2枚の非球面鏡を備えた露光装置HiNAを用いて、露光実験が行われている¹⁶⁾。姫工大ではNew-SUBARUを光源として、3枚の非球面

鏡を備えた露光実験装置が用いられている。また米国では、先にも述べたように、LBNLに非球面鏡2枚を備えた露光実験装置が稼動しており、2004年2月から本格的な露光実験が続いている。さらに欧州では、PTBの放射光を光源として実験用の非球面鏡2枚を備えた露光実験装置が稼動している。

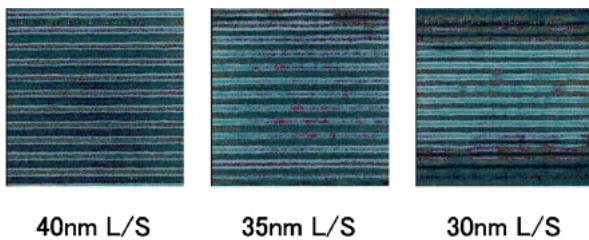
実用光源として放射光を用いる試みも、欧州で検討された。1998年に発足したEUCLIDESと呼ばれるプロジェクトでは、ASML, Zeiss, Oxford Instrumentsが組んで、EUV露光装置の開発を検討した¹⁷⁾。ここでは、Oxford Instrumentsがウイグラーからの光を何本か合成して利用する光源を検討した¹⁸⁾。500 MeVのリング1台に、3.4 mの直線部を2本設け、これを複数台並列で稼動させようというものであった。この場合、1本当たり16. W余りの出力が期待された。当初光源に要求された、光源強度は、数十Wであったため、この方式も候補となった。しかし、露光装置に要求される光源強度は、実用化検討が進むと共に高まり、100 W以上が要求されるようになった。その結果、光源としては、プラズマ線源にその可能性を譲った。現状で要求される光源の出力は、115 Wとされている¹⁹⁾。

ASETの露光実験に用いられているビームラインの例をFig. 5に示す。ここでは、後述する反射率計とコンタミネーションの評価設備、さらに露光実験装置（シュバルツシルト型）がこのビームラインに装備された。現在では、



NA: 0.3
Field Size:
300x500 μ m
 σ : 0, 0.8

Fig. 6 High NA Small Field EUV Exposure System "HiNA-3".



40nm L/S 35nm L/S 30nm L/S
Non-Chemically Amplified Resist: ZEP520A 90nm
NA: 0.3, Coherent Illumination Condition

Fig. 7 Exposure Results of HiNA-3.

最新の露光装置 HiNA が、この最終段に設置されたシュバルツシルト型露光装置を置き換えて、設置されている。

Fig. 6にその外観図を示す。ここで露光光学系のNAは0.3、フィールドサイズは、300 μ m \times 500 μ m、照明光学系の σ は、0.8と0を選択可能である。この露光装置 HiNA で得られている露光結果の一例を Fig. 7 に示す。EUV露光の適用が期待される、45 nm 以下の微細加工が実現されている。

4. 反射率の計測用光源

先にも述べたように、EUV露光技術では、反射光学系が用いられるが、その反射面は、多層膜から構成されている。その反射特性を評価するために、高精度な反射率計が非常に重要である。1枚の反射面の反射率を70%程度とすると、照明光学系の6枚で、すでに照明光学系全体の光の透過率は10%程度となり、マスクと投影光学系を合わせると、照明光学系へ入力した光は、その1%しかウエハ面に到達しないことになる。このため、各反射面での反射率が1%変化しても、全体では10%近い変化となる。このように、反射率の僅かな変化が全体の光の透過率を左右するため、その高精度な計測が求められている。また、多層膜は、バンドパス型の反射特性を示すため、その反射帯域のマッチングが重要であり、その波長精度にも高精度が要求される²⁰⁾。

露光装置やマスクは、世界中で製作、利用されることが予想され、世界各極での計測装置の反射率やその波長精度の較正が重要である。このため、米国のLBNL, NIST, ドイツのPTBやASETが共同し、同一の多層膜資料を持ち回って計測するラウンドロビンを行った。ラウンドロビンでの計測の結果、LBNL, PTB, ASETの計測結果が非常に良い一致を示した。今後は、こういった較正された計測器を標準として、各極の反射特性を較正していく必要がある。

5. コンタミネーションの評価

EUV露光装置では、レジストからのアウトガスや、真空中の残留ガス、さらに真空チャンバ内に設置された様々な構造物や配線材料からのアウトガスにより、光学系やマスクが汚れてしまうという問題がある。いわゆるコンタミネーションの問題である。レジストや、配線、構造物からのアウトガスには、様々な元素を含んだ材料が予想されるが、基本的には、残留ガス中の hidrocarbon の分解によるカーボン汚染と、水分が主因の酸化が最も注意すべき検討項目である。

数 nm のカーボン付着により数%のピーク反射率の低下を招き、全体の光透過率を大きく低下させる可能性がある。また残留水分からの酸素は、多層膜表面を酸化させ、

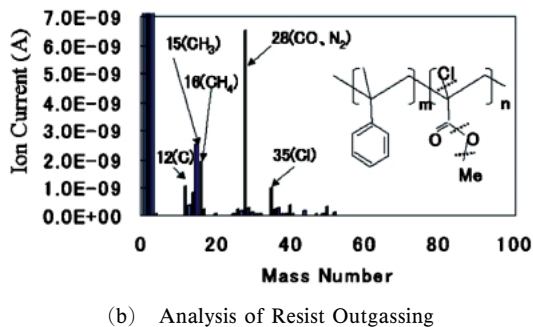
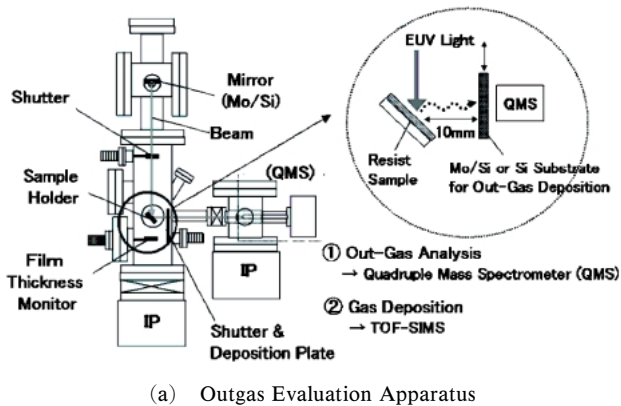
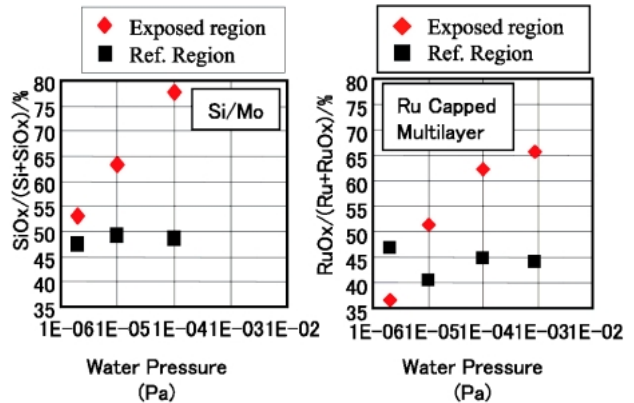


Fig. 8 Experimental Apparatus and Results.

やはり反射率を低下させる。このため、光強度や残留ガスの成分、特に H_2O や hidroカーボン等の分圧とカーボン付着や、多層膜表面の保護膜（キャッピング層）の材質とその酸化の関係を詳細に調べる必要がある。

EUV 露光におけるレジストからのアウトガスを出るだけ抑制するため、各種のレジストに EUV 光を照射し、アウトガスを実際に分析する必要がある。このため、Fig. 5 で示した ASET のビームラインにおいても、多層膜で分光した EUV 光を直接レジストに照射し、そこからのアウトガスを直接分析できるように、質量分析装置を設置した。その評価装置の構造を Fig. 8(a) に、予備的な実験結果の一部を Fig. 8(b) に示す。EUV 光照射による膜厚の変動や、アウトガスの分析を行うことができる。また分析結果からは、レジストのベースポリマーからの hidroカーボンや、感光性物質である酸発生材等からのアウトガスを検出している。さらに新しいアウトガス分析装置を、Super-ALIS のビームラインに最近設置して、検討を開始している。

多層膜の表面における EUV 光照射効果の検討では、通常の放射光を用いた照射実験がその主体となる。我が国では、NTT の Super-ALIS を用いて、ASET と EUVA でその検討が進められている²¹⁾。また New-SUBARU を光源として、兵庫県立大もその検討を進めている。特に兵庫県立大では、アンジュレータ光を用いた加速試験も行われており、通常光源の数十倍以上の光強度があるため、世界



的にも注目される加速試験の検討が進められている²²⁾。Fig. 9 に Super-ALIS のビームラインに設置したコンタミネーション実験装置で得られた、真空中の水分濃度や、キャッピング層の材質と酸化の関係を調べた例を示す。EUV 光の照射条件は、強度 16 mW/mm^2 、照射時間；4 時間である。ここにあるように、放射光を用いて、EUV 光の照射下で、残留ガスやキャッピング層の材質と、表面酸化の関係等を、詳細に検討している²³⁾。

6. 絶対波面計測技術

先にも述べたように、EUV の投影光学系は、6 枚の非球面ミラーから成り立っている。この 6 枚のミラーで超高精度な光学像を形成するために、その波面精度は非常に高いものが要求される。これを計測するため、様々な計測手法が検討されている。可視光を用いた計測装置が用いられることも多い^{24,25)}。しかし、多層膜で覆われた非球面反射面を高精度に計測するには、露光波長での計測が不可欠である²⁶⁾。これは、可視光の反射が、多層膜表面で起こるのに対し、多層膜での EUV 光の反射は、多層膜表面だけではなく、多層膜内に侵入した EUV 光の、多層膜内の干渉との組合せによって決まり、単に多層膜表面の形状だけでは決まらないことによる。

露光波長での計測では、 13.5 nm に急峻なピークを持った強度の強い光源が要求される。Fig. 10 に露光波長を用いた光学系の波面計測方法の一例を示す。この方法は点回折干渉計 (PDI: Point Diffraction Interferometer) と呼ばれるもので、微細なピンホールを用いた、点光源を利用することになる²⁷⁾。このため、アンジュレータ光のように強い光源が要求される。米国では、LBNL の ALS にあるアンジュレータ光が使われている²⁸⁾。我が国では、New-SUBARU のロングアンジュレータを光源として利用した PDI 法の研究が進められている。ASET では、この PDI 法の基本技術を検討し、Fig. 11 に示すような 13.5 nm の光を用いた干渉縞を得た。

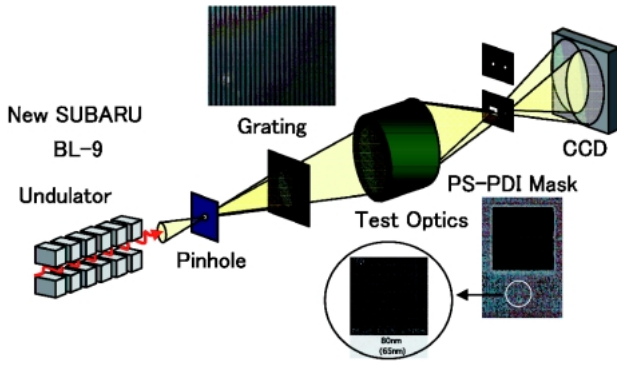


Fig. 10 At Exposure Wavelength Metrology System.

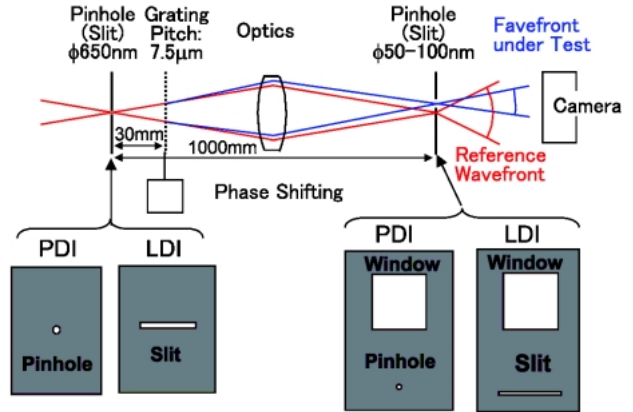


Fig. 13 Experimental Arrangements of the Masks for PDI and LDI.

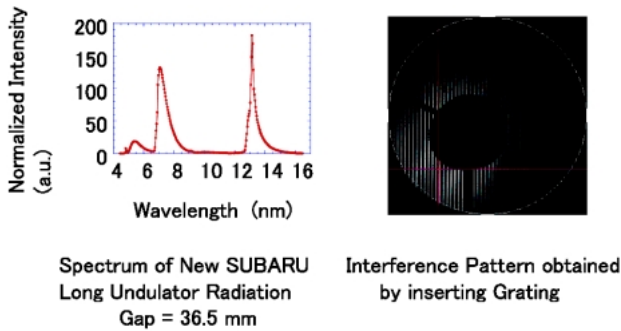


Fig. 11 Metrology Experiment at New SUBARU.

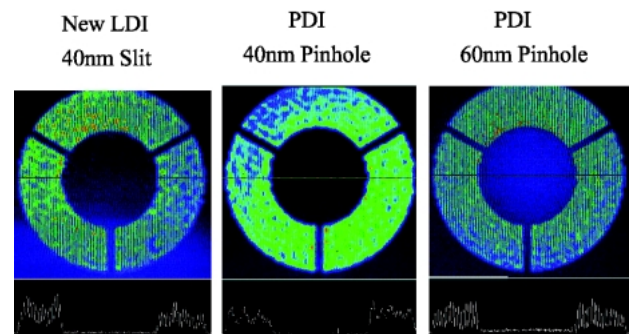


Fig. 14 Contrast Comparison of Interference Patterns between PDI and LDI.

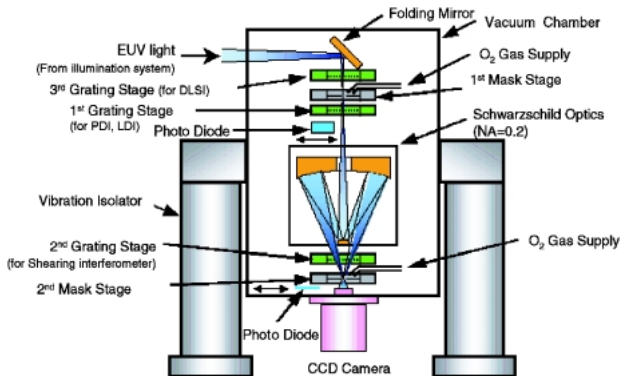


Fig. 12 Schematic View of the Experimental EUV Interferometer.

さらに最近では、EUVA が、兵庫県立大と共同でさらに高精細な実験を行っている。ここでは、実用光学系を計測できる干渉計を開発しており、先に述べた PDI 法の他、LSI 法 (Lateral Sealing Interferometer), LDI 法 (Line Diffraction Interferometer) や、CGI 法 (Cross Grating Interferometer) 等の新しい計測法を開発している²⁹⁾。Fig. 12 に EUVA で開発された、実験干渉計の模式図を示す。2つのマスクステージに、様々な形状のマスクを設置することで、様々な干渉法を検討できる。この実験干渉計で検討されている PDI 法と LDI 法の実験配置例を Fig. 13 に示す。PDI 法ではピンホールを使うのに対し、LDI 法

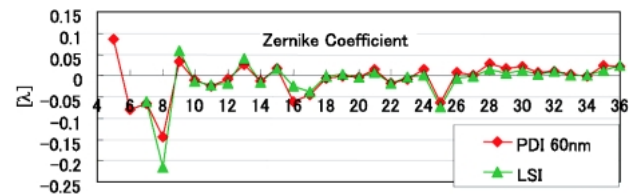


Fig. 15 Comparison of the Zernike Coefficients between PDI and LSI.

ではライン型のスリットが用いられ、光量を大きく取ることが出来るなど利点も多い。しかし、精度の観点からは、PDI 法が最も高精度と考えられ、計測値の基準となる。実際に得られた干渉縞の例を Fig. 14 に示す。この干渉縞を解析することで、測定する光学系の波面を精度高く計測できる。干渉縞の解析で得られた光学収差の係数を示す Zernike 36項の値を、LSI 法と PDI 法で比べた例を Fig. 15 に示す。このように、LSI 法でも PDI 法に匹敵する精度が得られることが、こういった実験結果から分かるようになって来ている。

7. その他の応用

多層膜の欠陥検査に関しても、LBNL で様々な検討が

進められている。一つは、ALSのアンジュレータ光を集光して多層膜表面に照射し、その散乱光を検出することで、多層膜上にある欠陥を検出しようというものである。この方式では、30 nm程度の欠陥を検出できるが、マスク面をスキャンするのに時間がかかることが課題である。現状では、6インチマスク全面をスキャンするのに80時間もかかるため、実用的ではない³⁰⁾。

一方、マスクの欠陥評価等を目的に、EUV顕微鏡を開発しようという動きも活発である。兵庫県立大の木下教授等が、EUV顕微鏡の研究を進めている他、LBNLでは、顕微鏡部分にオフアキス光学系を活用し、ゾーンプレートを用いたイメージングシステムを搭載した、EUVマスク欠陥検査システムを開発し、ALSのビームラインに導入した³¹⁾。このように欠陥検査にも放射光の活用が望まれている。

8. まとめ

以上、述べてきたように、EUV露光技術に関して、量産用の光源にこそ、放射光を用いる予定は無いが、様々な形で放射光を利用した研究開発が進められている。EUV露光技術の発展に、放射光技術が果たしてきた役割は非常に大きい。特にアンジュレータ光を用いた光学系の波面計測技術は、露光装置開発に不可欠なものであり、今後もその重要性が高まるであろう。通常光源を用いた計測器の開発も検討されているが、こういった計測器が開発されたとしても、標準原器としてのアンジュレータ光を用いた波面計測器の役割は大きい。また、コンタミネーションの評価には、長時間の照射実験が不可欠であり、放射光を用いた実験はその重要な手段である。特にアンジュレータ光を用いた加速試験は、研究を効率的に進めて行く上にも、非常に有効である。その他、EUV顕微鏡等、新しい観測手段は、EUV露光技術に止まらず様々な応用が考えられ、今後の展開を期待したい。

謝辞

本研究の一部は、NEDOの委託研究、およびその継続研究として行われた研究の成果によるものである。また絶対波面計測技術の研究について、ニコンの村上勝彦氏から、コンタミネーションの研究について、キャノンの高瀬博光氏から、資料の提供を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) S. Okazaki: "Resolution Limits of Optical Lithography", J. Vac. Sci. Technol. B8(6), 1990, p2829.
- 2) H. Kinoshita, K. Kurihara, Y. Ishii and Y. Torii: "Soft x-ray reduction lithography using multilayer mirrors", J. Vac. Sci. Technol. B7(6), 1989, p1648.
- 3) J. E. Bjorkholm, J. Boker, L. Eichner, R. R. Freeman, J. Gregus, T. E. Jewell, W. M. Mansfield, A. A. MacDowell, E. L. Raab, W. T. Silfvast, L. H. Szeto, D. M. Tennant, W. K. Waskiewicz, D. L. White, D. L. Windt, O. R. Wood II and J. H. Bruning: "Reduction imaging at 14 nm using multilayer coated optics: Printing of features smaller than 0.1 μm ", J. Vac. Sci. Technol. B8(6), 1990, p1509.
- 4) G. D. Kubiak, L. J. Barnerdez, K. Krenz and W. C. Swertt: "Scale-up of a cluster jet laser plasma source for Extreme Ultraviolet Lithography", Proc of SPIE No. 3676, 1999, p669.
- 5) J. Pankert, K. Bergmann, J. Klein, W. Neff, O. Rosier, S. Seiwert, C. Smith, S. Probst, D. Vandrevange, G. Siemons, R. Apetz, J. Jonkers, M. Loeken, G. Derra, T. Krucken and P. Zink: "Status of Philips' extreme UV source", Proc. of SPIE No. 5374, 2004 p152.
- 6) P. Naulleau, K. A. Goldberg, E. Anderson, K. Bradley, R. Delano, P. Denham, B. Gunion, B. Hoef, H. Huang, K. Jackson, G. Jones, D. Kemp, J. A. Liddle, R. Oat, A. Rawlins, S. Rekawa, F. Salmassi, R. Tackaberry, C. Chang, L. Hale, D. Phillion, G. Sommergren and J. Taylor: "Status of EUV microexposure capabilities at the ALS using the 0.3-NA MET optic", Proc. of SPIE No. 5374, 2004, p881.
- 7) K. A. Goldberg, P. Naulleau, P. E. Denham, S. B. Rekawa, K. Jackson, E. H. Anderson and J. A. Liddle: "At-Wavelength alignment and testing of the 0.3 NA MET Optic", J. Vac. Sci. Technol. B22(6) 2004, p2956.
- 8) M. E. Malinowski, P. Grunow, C. Steinhaus, W. M. Clift and L. Klebanoff: "Use of Molecular Oxygen to Reduce EUV Induced Carbon Contamination of Optics", Proc. of SPIE No. 4343, 2001, p347.
- 9) T. Oshino, S. Takahashi, T. Yamamoto, T. Miyoshi, M. Shiraiishi, T. Komiya, N. Kandaka, H. Kondo, K. Mashima, K. Nomura, K. Murakami, T. Okuyama, H. Oizumi, I. Nishiyama and S. Okazaki: "Development of projection optics set-3 for high-numerical-aperture extreme ultraviolet exposure tool (HiNA)", J. Vac. Sci. Technol. B22(6) 2004, p2975.
- 10) D. A. Tichenor, G. D. Kubiak, W. C. Replogle, L. E. Klebanoff, J. B. Wronosky, L. C. Hale, H. N. Chapman, J. S. Taylor, J. A. Folta, C. Mantcalm, R. M. Hudyma, K.A. Goldberg and P. Neulleau: "EUV Engineering Test Stand", Proc. of SPIE No. 3997, 2000, p48.
- 11) M. Ito, H. Oizumi, T. Soga, H. Yamanashi, T. Ogawa, S. Katagiri, E. Seya, and E. Takeda: "Soft-x-ray projection imaging with multilayer reflection masks", Microelectronic Eng. Vol. 27, 1995, p285.
- 12) H. Oizumi, Y. Maejima, T. Watanabe, T. Taguchi, Y. Yamashita, N. Atoda, K. Murakami, M. Ohtani and H. Nagata: "Sub 0.1 μm Resist Patterning in Soft X-Ray (13 nm) Projection Lithography", Jpn. J. Appl. Phys. 32, 1993, p5914.
- 13) P. Naulleau, K. A. Goldberg, E. Anderson, J. P. Cain, P. Denham, K. Jackson, A. S. Moriensi, S. Rekawa and F. Salmassi: "Extreme ultraviolet microexposures at the Advanced Light Source using 0.3 numerical aperture micro-exposure tool optic" J. Vac. Sci. Technol. B22(6), 2004, p2962.
- 14) T. Watanabe, K. Mashima, M. Niibe and H. Kinoshita: "A Novel Design of Three-Aspherical-Mirror Imaging Optics for Extreme Ultra-Violet Lithography", Jan. J. Appl. Phys. 36, 1997, p7597.
- 15) S. Okazaki: "The EUV Program in Japan", Proc. of SPIE No. 3676, 1999, p238.
- 16) H. Oizumi, Y. Tanaka, I. Nishiyama, H. Kondo and K.

- Murakami: "Lithographic performance of high-numerical-aperture (NA=0.3) EUV small-field exposure tool (HiNA)", to be published in Proc. of SPIE No. 5751, 2005.
- 17) J. P. H. Benschop, W. Kaiser and D. C. Ockwell: "EUCLIDES, the European EUVL Program", Proc. of SPIE No. 3676, 1999, p246.
 - 18) D. C. Ockwell, N. C. Crosland and V. C. Kempton: "Synchrotron light source as a source for extreme ultraviolet lithography", J. Vac. Sci. Technol. B17(6) 1999, p. 3043.
 - 19) H. Franken, Y. Watanabe and K. Ota: Joint Spec. ASML, Nikon and Canon, presented at Source Workshop (Antwerpen), 2003 www.semtech.org
 - 20) J. Tummier, F. Scholze, G.M.Brandt, B. Meyer, F. Scholz, K. Vogel and G. Ulm: "New PTB reflectometer for the characterization of large optics for the extreme-ultraviolet spectral region", Proc. of SPIE No. 4688, 2002, p338.
 - 21) T. Aoki, H. Kondo, S. Matsunari, H. Takase, Y. Gomei and S. Terashima: "Apparatus for contamination control development in EUVA", to be published in Proc. of SPIE No. 5751, 2005.
 - 22) Y. Kakutani, M. Niibe, H. Takase, S. Terashima, H. Kondou, S. Matsunari, T. Aoki, Y. Gomei and Y. Fukuda: "Reflectance change of Si and Ru capped Mo/Si multilayer mirrors caused by intense EUV irradiation", to be published in Proc. of SPIE No. 5751, 2005.
 - 23) H. Takase, Y. Gomei, S. Terashima, H. Kondou, T. Aoki and S. Matsunari: "Characterization of capped multilayer mirrors using XPS, AES and SIMA", to be published in Proc. of SPIE No.5751, 2005.
 - 24) K. Ota, T. Yamamoto, Y. Fukuda, K. Otaki, I. Nishiyama and S. Okazaki: "Advanced point diffraction interferometer for EUV aspherical mirrors", Proc. of SPIE No. 4688, 2002, p690.
 - 25) J. S. Taylor, G. E. Sommargren, D. W. Sweeney and R. M. Hudyma: "The fabrication and testing of optics for EUV projection lithography", Proc. of SPIE No. 3331, 1998, p580.
 - 26) D. A. Attwood : FED ジャーナル Vol. 8, No. 2, 1997 p17.
 - 27) D. Attwood: "SOFT X-RAYS AND EXTREME ULTRAVIOLET RADIATION", Cambridge University Press, 1999, p330.
 - 28) K. A. Goldberg, P. Naulleau, P. Denham, S. B. Rekawa, K. Jackson, E. H. Anderson, J. A. Liddle and J. Boker: "Preparation for at-wavelength interferometry of 0.3 NA Micro Exposure Tool optic", J. Vac. Sci. Technol. B21(6) 2003, p2706.
 - 29) 村上勝彦:「EUV 光学系絶対波面計測技術の開発」精密工学会誌「超精密」に掲載予定.
 - 30) S. Jeong, L. Jhonson, Y. Lin, S. Rekawa, P. Yang, P. A. Kearney, E. Tejnli, J. H. Underwood and J. Boker: "Actinic EUV mask blank bdefect inspection system", Proc. of SPIE No. 3676 1999 p298.
 - 31) Y. Lin, A. Barty, E. Gullikson and O. R. Wood II: "A dual-mode actinic EUV mask inspection tool", to be published in Proc. of SPIE No. 5751 2005.

● 著者紹介 ●



岡崎信次

技術研究組合 超先端電子技術開発機構
EUV フロセス技術研究部・部長

E-mail: okazaki@aset.tokyoinfo.or.jp

専門: 半導体リソグラフィ技術

【略歴】

1970年3月, 東京工業大学理工学部電子工学科卒業, 同年4月(株)日立製作所中央研究所入所。半導体プロセスとデバイスの研究に従事。主に高周波 GaAs-FET の高性能化, 微細 MOS デバイスのための微細加工技術の開発を担当。電子線リソグラフィ技術, 光リソグラフィ技術の高解像力化の研究を推進。この間1980年から1年間, 米国 Rensselaer Polytechnic Institute に留学。1993年2月, 半導体事業部, 1998年2月デバイス開発センタに異動。1998年7月, ASET に出向。EUV 研究室設立と共に同室長に就任, 2002年4月, EUV プロセス技術研究部設立と共に, 同部長に就任, 現在に至る。工博, IEEE Fellow。

Development of EUV lithography and the role of Synchrotron Radiation

Shinji OKAZAKI Super advanced electronics technologies
Time 24 Bulid, 2-45 Aomi, Kotou-ku, Tokyo, 135-8073, JAPAN

Abstract The resolution limit of optical lithography is on the horizon. EUV (Extreme Ultra-Violet) lithography is one of the most promising candidates of the post optical lithography. It will provide a real nanometer patterning technology in the industrial environment. However, there are still many issues to be solved before the practical use of this lithography. Synchrotron Radiation will not be used for the light source for EUV lithography. But, it has been widely applied for the development of this technology. Not only for the light source of the experimental exposure system, but also it has been widely used for the light sources for the at wavelength metrology system, the multilayer mirror reflectometer, the apparatus of contamination study, the defect inspection system and so on. The history and the current development status of the EUV lithography is introduced from the view of the role of Synchrotron Radiation technology.