

真空紫外光リソグラフィ

笹 子 勝

松下電子工業(株)プロセス開発センター ☎ 601-8413 京都府京都市南区西九条春日町 19

(1999 年 1 月 11 日受理)

VUV Lithography

Masaru SASAGO

ULSI Process Technology Development Center, Matsushita Electronics Corporation
19 Nishikujo-Kasugacho, Minami-ku, Kyoto 601-8413

(Received January 11, 1999)

The semiconductor industry, whose long period of sustained growth is in no small measure due to the optical lithography process, is now on the verge of a dilemma. Optical lithography has arrived at a crossroads, and after many years of steady improvement in device performance, device integration, and cost reduction, the industry is facing a major crisis. In Japan, Europe and the U.S., consortiums comprising the entries from government, business, and the academic world have been formed in an effort to ward off the coming crisis. Their work seeks to extend the useful life of optical lithography as well as to foster the development of post-optical lithographic processes. A particular problem they are confirming is to ascertain how the development of sub-0.1 μm lithographic technology will affect the economical manufacturing of semiconductors. This paper discusses the limits of current optical lithography such as VUV lithography, especially F_2 excimer laser and worldwide trends in developing post-optical lithographic processes. Future miniaturization trends in semiconductor production are also discussed.

1. は じ め に

21 世紀初頭に半導体産業の主たる担い手といえる、デジタル情報家電を実現するシステム LSI 時代には更なる微細化が必要であり、それを実現するには光リソグラフィで実現するかという点にあるといっても過言でない。Fig. 1 に、現在までと今後のデザインルールと露光技術の推移について示す。特に、0.13 μm 以細の微細化によってもたらせるシステム LSI の機能こそが、本当の意味の技術の塊の究極であろう。

ところで何故、光リソグラフィが有望視され、かつ使用されていくのであろうか。もちろん、光リソグラフィに代わる他のリソグラフィ技術は、古い時代から提案され研究が続いている。その代表は、電子ビーム¹⁾と X 線リソグラフィ技術²⁾であろう。しかしながら、電子ビームリソグラフィでは、その性格上一括転写が難しく、描

画速度が劣りスループットが悪いという欠点がある。そのため、現在ではウェハ直接描画露光よりも、マスク、レチクル製作に使用されているのが現状である。しかしながら、多様化する半導体超 LSI ニーズから、個別半導体 (ASIC: Application Specification Integrated Circuit) 分野の製造で、微細パターン追求でなく開発商品化の TAT (Turn Around Time) を縮小するために、使用する用途が出てきている。また、最近では描画速度を改善するため、セル/ブロック電子ビーム露光³⁾と呼ぶ、ビーム成型部に規則的なステンシルマスクを用いて、DRAM のような規則的パターンの描画面積を稼いで描画速度を増すものである。ただし、いまのところ先行する研究開発のデバイスに使用するケースが多く、量産ベースに電子ビーム・リソグラフィを使用するには、相当な技術的ブレークスルーが必要である。これを更に斬新的に行う技術が、SCALPEL (Scattering with Angular Limitation Projection Electron-beam Lithography)⁴⁾である。この技術は、光スキャナのコンセプトを電子ビームリソグラフィに取り

E-mail: sasago@vtrl.src.mei.co.jp

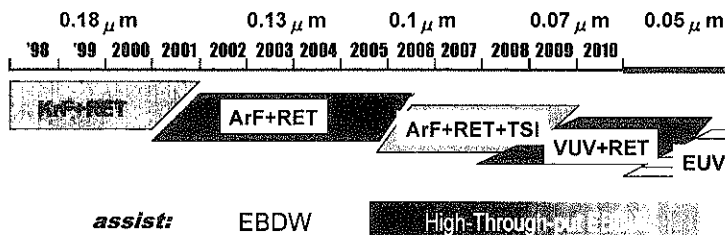


Fig. 1 Lithography trend.

入れたもので、大面積露光が可能となるが、アライメントやつなぎ精度などマスク上の課題が実証されていない。

一方、X線リソグラフィについては、早くから光リソグラフィの次の担い手として有望視されていた。X線はその波長領域が数Åから数十Åということで微細化が可能など、それなりの特徴を持っている。しかし初期の研究レベルでは金属に電子ビームを照射してX線を得るポイントX線源では、そのパワーと半影ぼけの影響でサブミクロン・デバイスに耐えるには非常に難しい評価を得ていた。現在ではパワー向上のため各種の線源が研究され、プラズマX線源や将来的なシンクロトロン放射光（SOR: Synchrotron Orbital Radiation）を用いた露光が研究されている⁹⁾。しかしながら、X線露光の最大の問題点は、その性格上縮小投影が非常に難しいため、マスク製作に高い精度が要求されることである。つまり、ウェハ露光以上の精度が要求される上、X線遮光性の高い物質を用いて高品質のマスクをつくらねばならないなど、未解決な問題が残っており、位置付けとしてはより次々世代技術といえる。

また、ヨーロッパを中心に精力的に取り組まれているのはIPL（Ion Projection Lithography）⁶⁾である。4倍体のシリコンメンブレン上にカーボンを遮蔽体にした、光ステッパ光学系に似たものである。この課題も、マスク自体の発熱の影響など課題が山積している。

このように、他のリソグラフィ技術が光リソグラフィ技術を越えられない現在、光リソグラフィをいかに延命できるかが、そして、その限界を見極めた上で、次々世代技術開発戦略の決定は、今後、超LSIの発展に与える影響は大きいのである。特にその露光光源の選択と技術進捗はキープポイントといえる。露光技術、即ちリソグラフィ技術は、半導体プロセス技術のコアテクノロジーであり、高集積化技術のリーディングテクノロジーであることを述べた。一方、半導体の微細加工技術は物理的限界へと近づいており、技術開発は日増しに困難になっている。半導体メーカはこの技術的ブレークスルを達成するため、莫大な技術開発投資と設備投資を強いられている。

この投資・費用をカバーするためにも、リソグラフィ技術の開発加速が必要であり、さもなければ、半導体産業成長の停滞を招きかねない状況にある。このような状況下において、米国では半導体工業会（SIA）が中心となりthe National Roadmapを策定し、SEMATECHが核となりリソグラフィ技術のインフラ整備や次世代技術開発への投資が精力的に行われている。日本では、21年ぶりに微細加工関係の国家プロジェクトASETが設立され、集中研方式でリソグラフィ技術基盤構築のため研究開発が開始された。ヨーロッパでも、産官学プロジェクト（Esprit）が複数のリソグラフィ技術に対して、研究開発を開始した。この状況は、世界全体で半導体産業の将来危機を回避するための賢明な組織化といえるのである。

2. 次世代光リソグラフィの現状と将来

2.1 ArFエキシマレーザリソグラフィ技術の現状

ArFエキシマレーザリソグラフィ技術は、量産性の優れる光リソグラフィ技術の延長という位置付けで、KrFエキシマレーザリソグラフィに次ぐものとして、大きく期待されている。しかしながら、その技術的研究開発の歴史は浅く、従来の微細化トレンドを克服するには、大きく遅れていた。1996年よりArFエキシマレーザリソグラフィの技術加速をミッションとした日米欧のコンソーシアムが発足し、本格的な研究開発時代に突入した。そのターゲットは0.18から0.13μm世代の量産技術の実現であり、20世紀末までに要素技術および基盤的インフラを取りそろえようという、非常に短期的、挑戦的目標である。本章ではASETでの、ArFエキシマレーザリソグラフィ研究室の研究内容、進捗⁷⁾を中心に述べたい。

2.1.1 単層レジスト

最初に、ArFレジストの開発状況について説明する。ArF波長（193 nm）においては、ベンゼン環に強い吸収があるため、従来、汎用的にいられて来たポリビニルフェノール（PVP）樹脂は使用できない。そのため193 nmの光に対して透明で、かつエッチング耐性がある材料として、脂環基を含む樹脂を用いたレジストが提案される

ようになった。このような ArF レジスト樹脂の提案は当初デバイスメーカーの研究所で行われてきた。しかし、昨年からはレジストメーカーが ArF レジストの開発に参入し精力的な開発が進められている。

ASET ではこれまで化学メーカー数社より ArF 単層レジストの提供を受け、評価を行ってきた。ArF レジストの感度は合成石英のコンパクションの問題から 5-10 mJ/cm² 程度の高感度が要求されている。ArF レジストの感度は当初、材料の最適化により向上していったが最近になって再び悪化するきざしを見せている。現在、平均的感度は 20 mJ/cm² 程度と必ずしも十分ではないが、10 mJ/cm² 以下の高感度を有し、かつ高性能なレジストも存在している。

Fig. 2 は解像度特性の一例である。NA=0.6 ArF 露光機と通常マスクを用いて 0.13 μ m L & S が解像している。今後の量産用 ArF 露光機の NA はさらに大きくなることを考えれば 0.1 μ m 程度の解像度は変形照明の併用で解像可能となるであろう。

2.1.2 表面イメージング法

次に表面イメージング法について考えてみたい。表面イメージング法の歴史は古く、3 層レジストの提案から

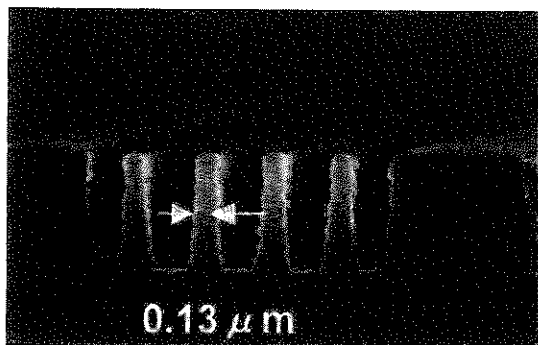


Fig. 2 SEM photograph of 0.13 μ m L & S patterns exposed by NA 0.6 ArF exposure.

既に 15 年以上経過している。この間、レジスト材料、シリル化剤、ドライエッチング技術すべての領域において新技術が開発され性能も向上してきている。ここでは比較的単純で広く知られているシリル化法を用いた表面イメージング法について述べる。

表面イメージング法のプロセスは、最初に PVP 樹脂を露光し、シリル化剤 (DMSDMA) でシリル化し、最後に O₂ ガスでドライ現像を行う。NA=0.6 のレンズとレベンソン型位相シフトマスクを組み合わせると、Fig. 3 からわかるようにサブ 0.1 μ m L & S を解像することが可能である。このプロセスの場合、感度が 250 mJ/cm² と低いことが欠点であるが、化学増幅型ネガ型レジストを用いることによって 10 mJ/cm² 以下の感度も得られている。

また、最近の研究では表層イメージング法がコンタクトホールパターン形成に有効なことがわかった。通常照明で 0.1 μ m 以下のコンタクトホールが形成可能である。

以上のように表面イメージング法は優れたリソグラフィ性能を有しており、また解像限界の点でも優れている。もちろん TSI プロセスはドライエッチング装置を必要とするという大きな弱点を背負っている。ただし、エッチング装置のクラスタ化が進み、シリル化装置、ドライ現像装置がクラスタユニットとしてエッチング装置に搭載されるようになればドライ現像プロセスのバリエーションも低くなるであろう。加えて、ArF 露光技術以降の真空紫外領域の光学リソグラフィに適用可能であり、ArF 露光技術の延命化を実現する方法としても ArF+TSI の可能性も十分あると考えられる。

2.2 ポスト ArF リソグラフィ

超先端電子技術開発促進事業の委託を受けた ASET を中心に、DUV から真空紫外領域 (VUV) の入り口でもある ArF エキシマレーザ (波長 193 nm) を中心とした光リソグラフィの研究開発が盛んに取り込まれ、0.15 μ m

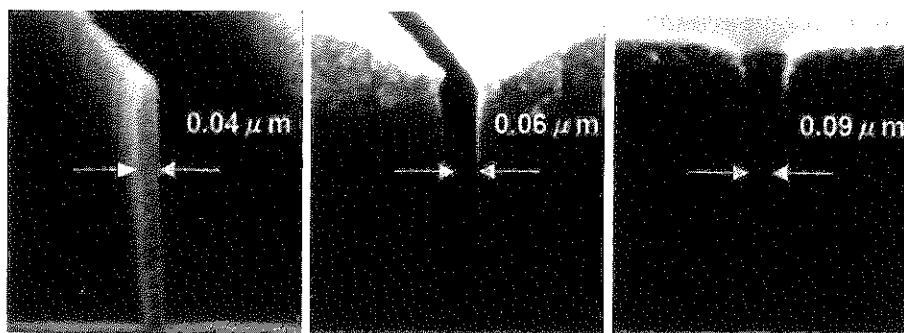


Fig. 3 SEM photographs of sub-0.1 μ m isolated patterns by Top Surface Imaging process.

以細の基盤技術が20世紀末には、整うものと報告した。VUV・EUVリソグラフィ技術は、ArFリソグラフィ技術の後継技術として、電子ビーム直描、等倍X線技術、Scalpel、イオンプロジェクションの対極として0.10 μm 以細での実用化が期待されている。VUVリソグラフィ技術は、2004年頃まで、EUVリソグラフィ技術は、2007年頃までに量産化技術を確認しなければならない重要技術であり、ArFの超解像・X線露光・EB露光技術などと競合する技術である。ただし、実現化の技術的困難さ、技術的継続性、コストパフォーマンスの確保などを考慮すると、競合技術とのミックス&マッチを含めた平行開発が必要である。VUV・EUVリソグラフィ技術が越えるべき技術課題は、これら競合技術に比較して決して容易とはいえないが、従来からの紫外線すなわち光リソグラフィのノウハウ・技術蓄積を活かせるものであり、技術キャッチアップも早いものと予想される。特に、VUVリソグラフィ技術の実現化が遅れた場合には、リソグラフィ分野での生産性・コスト採算性が低下することも予想され、半導体プロセス技術開発全体に多大の影響を被ることになる。世界に先駆けて、米国では民間企業が国立研究所に融資し、EUV専用の研究開発会社を設立し、取り組みが始まっている。日本でもASETにおいてEUVプログラムが開始された。Table 1にDUV・VUV・EUVレーザーリソグラフィの比較を示した。

再度、次々世代のリソグラフィについて考察してみたい。現在、ArFエキシマリソグラフィの現状および今後期待される進展によって、0.13 μm レベルまでは、確実に乗り切れると思われる。0.10 μm を考えるとどうであ

ろうか？すでにFig. 3に0.10 μm 以下のパターンを形成した例を示している。良好な形状で解像している。また、孤立やコンタクトホール0.1 μm 以下のパターン形成も可能としている。すなわち、ArFエキシマリソグラフィの延命で乗り切れる可能性はあるものの、ポストArFエキシマリソグラフィ技術の構築も計っていくことが必要である。候補となる技術としては、等倍X線、電子ビーム直描、SCALPEL、IPLのほか表に示すように波長157 nmのF₂レーザー、波長126 nmのAr₂レーザーあるいはその中間波長、および波長13 nmのEUVが想定される。0.10 μm の実用化時期は2004年であり、KrFやArFエキシマリソグラフィの開発経緯およびその開発の難易度を考えると、永年築いてきた、光リソグラフィ技術の延命戦略、つまりVUVリソグラフィは最善策といえる。早期に、世界レベルの産・官・学の共同プロジェクトを構築し、本格的な開発に着手する必要があると思われる。

3. 真空紫外リソグラフィ (VUVL) 技術

この25年間にわたり人類は電磁気スペクトルにおける偉大な手段としてレーザーを獲得し、短パルスおよび強力な尖塔出力光を放出することができるようになった⁸⁾。工業化実現可能な放電励起可能な先導的研究結果では、F₂エキシマレーザー(波長157 nm)までである。Ar₂レーザー(波長126 nm)での放電励起の報告はなく、さらに短い波長では、極端紫外領域として、20.6 nmと21 nmで動作する、X線レーザーと歪曲と呼ばれるレーザーが存在する⁹⁾。しかし、現状で目処がたっているのはArF

Table 1 Comparison with DUV, VUV, EUV lithographies.

	DUV		VUV				EUV	
	ArF 193 nm		F ₂ 157 nm		Ar ₂ 126 nm		13 nm	
Source	weak narrow		weak narrow		discharge excite		laser plasma	
Optics	refr · refl		refr · refl		refr · refl asph. mirror		asph. mirror	
Mask	acc · phase		blanks		blanks		reflection mirror	
Optical Material	SiO ₂ , CaF ₂		CaF ₂		MgF ₂ + AR		Mo/Si, thin film	
Resist	single · TSI		single · TSI		single · TSI		TSI	
Feature Size	0.13		0.10		0.07		0.05	
Required NA	0.60		0.63		0.69		0.1	
α -site	'98		'99		—		2002	
β -site	2000		2003		—		2004	
Mass Production	2001		2004		—		2007	
Remarks								

Required NA: $k_1=0.4$

■ key tech, difficulty

レーザまでで、ArF より短波長で、なおかつ透過窓材が利用できる真空紫外波長域 (VUV ; 105~190 nm 程度) でのリソグラフィレーザについては、光学硝材等の関係で実用化の目処はたっていない。当然のことながら、真空紫外波長下での微細加工の事例は皆無といえる。ArF リソグラフィ技術以降の議論に至っては、一挙にその短波長性による高解像度が期待できる極端紫外波長域 (13 nm 付近) の縮小リソグラフィ (EUV) の望む声が多い。しかしながら、プロセスインテグレーションの可能性を議論するまでには、高輝度光源、高精度光学系、高精度機構系の大きな技術的課題が VUV 以上に立ちはだかる。ただし、EUV リソグラフィの実現の条件は従来からの光リソグラフィがなし得たスタンドアロンという条件を満たすためには、小型のシンクロトン放射光あるいは高輝度 X 線レーザの実現が必須条件と考える。これらの真空紫外レーザや X 線レーザが工業化されるならば、短波長化による空間分解能の向上と大きな光子エネルギーを利用した直接光化学反応を併せた新しいプロセスにより、数 nm 台への光プロセスの微細化も可能となり、その技術的波及度は大きいものである。

次に、詳細に VUV 領域の光源波長を説明する。

VUV 光源としては Table 2 のような候補が考えられるが、波長や放電励起の可能性等を考慮すると従来からいわれてきた F_2 、 Ar_2 に加えて、 Kr_2 あるいは $ArKr$ が最終候補であると考えられる¹⁰⁾。以下にそれぞれの特徴を記す。

● F_2 レーザ

1997 年に放電励起による発振が得られて以来、高出力 VUV レーザとして注目されている。スペクトル幅は数十 ppm で、従来は高出力化を目的に高励起密度化 (エキシマレーザの 10 倍程度) を行っているため、高繰り返し動作は困難であった。高密度化ガスのため高利得(低

飽和強度) となりやすい。低励起密度での高効率発振が課題である。既に Lambda 社から製品がリリースされているが、 F_2 を使用するため、ガス寿命が KrF や ArF レーザに比べて 4-5 桁低いことも問題である。国内では小松製作所が研究を行っており、九大がシミュレーションによる検討を行っている。

● ArKr レーザ

Xe_2 、 Kr_2 、 Ar_2 と同様、希ガスエキシマレーザの一種で、高効率、高出力光源として期待されている。 Xe_2 、 Kr_2 、 Ar_2 エキシマは黒沢、佐々木 (当時大阪府大) らによって 1991 年に電子ビーム励起で発振が得られている。その後、佐々木 (宮崎大) らのグループが放電励起での発振の研究を精力的に進めている。

● Ar_2 レーザ

これまでに発振が確認されているのは電子ビーム励起によるものであり、放電励起による検討が行われてきたが発振には至っていない。 Ar_2 の放電励起では、 F_2 レーザと比較して一桁大きな注入電力密度が必要であるが¹¹⁾、放電維持条件によって注入電力密度が制限されているため発振が困難であると考えられる。したがって、このような制限のない電子ビーム励起によってのみ発振が得られているのである。

以上を踏まえて ArF 以降を考えると、2 つの道筋が考えられる。

- A) Feasible $ArF \rightarrow F_2 \rightarrow (Ar_2) \rightarrow EUV$
 193 157 126 13 (nm)
 B) Challenge $ArF \rightarrow Kr_2 \text{ or } ArKr \rightarrow \dots \rightarrow EUV$
 193 *134 13 (nm)

A) は step by step であり、 Ar_2 以降の EUV まで全反射型光学系という技術的連続性がある。B) では Kr_2 か $ArKr$ の発振が律速となりそうであるが、従来の屈折光学系がそのまま使える可能性があり、光学設計が比較的容易である。

光リソグラフィ技術の共通基盤的要素技術は、光源技術、光学系技術、機構構造系技術、超高精度制御技術、レジストプロセス技術である。これら要素技術とインテグレーション技術の進歩が、今日の半導体産業の発展を導いてきたことを述べてきた。光リソグラフィ技術による微細加工性には、波長で決まる光学的な限界があり、将来の超微細加工技術では極力短い波長の光源あるいは物質波が用いられようとしている。一般的に解像度はレーリーの法則により、 $R = k \cdot \lambda / NA$ で決まる。Table 3 に波長、 NA をパラメータにした、 k ファクタを示した。 NA はレンズ開口度、 λ は波長、そして k ファクタはプロセス定数で一般的な量産限界の k ファクタは 0.4 までといわれている。表より、0.1 μm 以細では、 F_2 レーザ

Table 2 VUV wavelength.

Generation(μm)	λ (nm)	Source	Reduction Ratio
0.35	365	i	1
0.25	248	KrF	KrF/i 0.68
0.18	248	KrF	
0.15	248	KrF	
0.13	193	ArF	KrF/ArF 0.78
	157	F_2	F_2 /ArF 0.81
	146	Kr_2	Kr_2 /ArF 0.76
0.10	134	KrAr	KrAr/KrF 0.69
	126	Ar_2	Ar_2 /ArF 0.65
0.07	13	soft-X	soft-X/ F_2 0.08

Table 3 Rayleigh limits.

		CD(nm)					
λ (nm)	NA	0.18	0.15	0.13	0.1	0.07	0.05
248 KrF	0.55	0.40	0.33	0.29	0.22	0.16	0.11
	0.60	0.44	0.36	0.31	0.24	0.17	0.12
	0.65	0.47	0.39	0.34	0.26	0.18	0.13
	0.70	0.51	0.42	0.37	0.28	0.20	0.14
193 ArF	0.60	0.56	0.47	0.40	0.31	0.22	0.16
	0.65	0.61	0.51	0.44	0.34	0.24	0.17
	0.70	0.65	0.54	0.47	0.36	0.25	0.18
	0.75	0.70	0.58	0.51	0.39	0.27	0.19
157 F ₂	0.60	0.69	0.57	0.50	0.38	0.27	0.19
	0.65	0.75	0.62	0.54	0.41	0.29	0.21
	0.70	0.80	0.67	0.58	0.45	0.31	0.22
	0.75	0.86	0.72	0.62	0.48	0.33	0.24
126 Ar ₂	0.60	0.86	0.71	0.62	0.48	0.33	0.24
	0.65	0.93	0.77	0.67	0.52	0.36	0.26
	0.70	1.00	0.83	0.72	0.56	0.39	0.28
	0.75	1.07	0.89	0.77	0.60	0.42	0.30
13 EUV	0.1	1.38	1.15	1.00	0.77	0.54	0.38
	0.15	2.08	1.73	1.50	1.15	0.81	0.58

の場合、NA 0.65 以上で射程距離内となる。一方、他の電磁波リソグラフィ技術が光リソグラフィ技術を越えられない現在、光リソグラフィをいかに延命できるかが、今後、電子工業界の発展に与える影響は大きいことを述べてきた。したがって、更に短い波長帯での光リソグラフィ技術の探求については、産業界からの要望が非常に強い。その理由は光リソグラフィ技術の50 数年におよぶ永年の技術資産といえる。しかしながら、光リソグラフィ技術において、波長が変わった場合に最も大きな影響を受ける要素技術は、光学系技術とレジストプロセス技術である。とりわけそれらの硝材や高分子材料技術は、本質的な影響を受ける。電磁波と物質との相互作用は波長に依存するからである。ゆえに、新しい材料技術に関する大きなブレークスル技術の研究開発が求められている。その理由から、ArF のさらなる短波長化である、VUV、特に F₂ リソグラフィ技術の開発は重要である。その目標加工寸法は、0.10 μm 以下を以て目指すものである。

真空紫外領域での先導的な研究は密着露光法による H.G. Craighead ら¹²⁾ の F₂ レーザ (157 nm) を用いたものである。しかしながら、非常に短いガス寿命と密着露光法の実験であったため、その後の研究は途絶えたが、最近、MIT リンカーン研究所が反射屈折系 (NA=0.5, 倍

率 36 倍) を試作し 0.08 μm を解像するに至り注目を集めた¹³⁾。試作光学系は簡素なものであるがその後、CaF₂ や石英などの硝材の耐光性などを研究している。真空紫外レーザでの発振に関しては F₂ レーザ (波長 157 nm) に対して Ar₂ レーザ (波長 126 nm) は実用的な放電励起の前例がなく、工業化に困難な強度電子ビーム励起のみが報告されている⁹⁾。今後の当初の研究開発の方針として、高出力レーザと結像材料を中心に研究開発を行うことが好ましい¹⁴⁻¹⁶⁾。

まず、真空紫外下でのマスク・光学材料(反射防止膜、硝材)についても、その探索が不十分といえる。結晶性や加工性を含めて CaF₂・MgF₂ や LiF などの材料研究や分子制御膜形成技術に取り組むことが第2 段階といえる。露光結像系は従来にない反射屈折光学系を新たに提案すべきである。Fig. 4 に各硝材のスペクトラムを示した。150 nm 付近までかなりの透過性のある材料が多い。これは ArF リソグラフィ光学系の大きな成果である¹⁷⁾。

Fig. 5 には、VUV 領域のレジスト反応を先導的に研究するために筆者らが作成したシステムである。簡易的に VUV 光である Kr₂ 光 (146 nm) を発光する誘電体バリア放電ランプをレジストフィルムに照射する実験装置を試作し、ArF リソグラフィに一部検討で用いられるポ

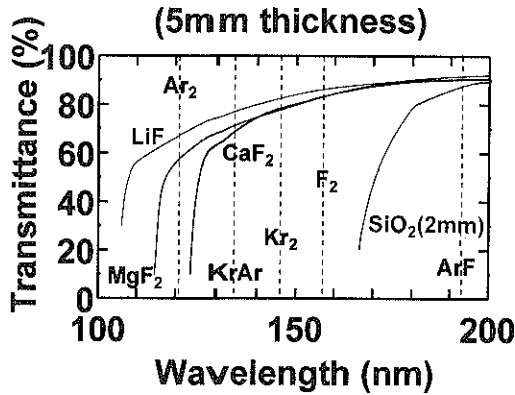


Fig. 4 VUV spectrum for optical materials.

リ（テトラヒドロピラニルメタクリレート-メチルメタクリレート-メタクリル酸ポリマー化学増幅型レジスト照射を行う基礎実験を行った。結果として、Fig. 6のシミュレーションのようにパターン形成が可能であることが示された。これは、VUV領域でも有機物での単層パターンニングが可能である、初めてのエビデンスである¹⁸⁾。

4. ま と め

以上、光リソグラフィおよび次々世代の光つまり VUV 領域のリソグラフィの技術動向を中心にレビューしてきた。ArFエキシマリソグラフィにおける要素技術の立ち上がりは急速に進んでおり、21世紀初頭の実用化に向

Exposure Test System

VUV source; 146nm, 13nmFWHM, lamplife 700hr.

0.15mW/cm²

Excimer Lamp (Kr2) (Ushio)

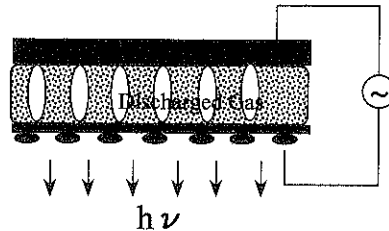


Fig. 5 VUV exposure experimental system.

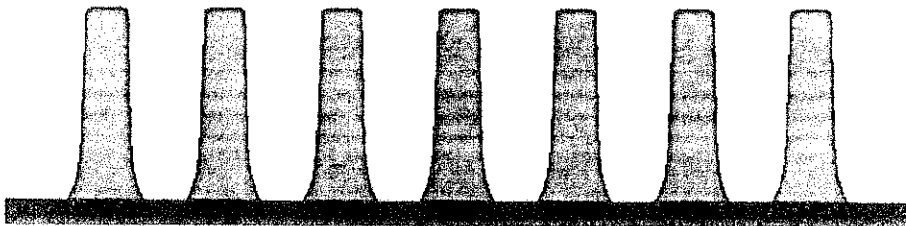
Parameter File: 146NM.PAR*
Speed Factor: 10

PROLITH/2

The Positive/Negative Resist Optical Lithography Model, v5.05

25 Mar 1998

Resist Profile Array



Nominal Feature Width = .150 um

Pitch = .300 um

Fig. 6 Simulation results for VUV exposure.

けて、今後ますます活発化し発展するものと確信する。さらにポスト ArF 技術開発戦略の策定、つまり真空紫外リソグラフィの技術立ち上げとその加速は、露光光源技術や積材の技術進捗を判断しながら、今が重要な時期であるといえる。

本稿は、通商産業省のプロジェクト「超先端電子技術開発促進事業」の一環として技術研究組合超先端電子技術開発機構 ASET が新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から委託されて実施した研究の成果の一部をもとにしている。ならびに ASET-ArF 研究室の研究員諸氏と行った研究の知見を基に記述している。感謝の意を表します。また、真空紫外線照射装置実験に協力いただいたリソテックジャパン(株)の諸氏および所属先行技術部の研究者諸氏に深謝いたします。

文 献

- 1) M.B. Heritage: J. Vac. Sci. Technol. **12**, 1135 (1975).
- 2) D.L. Spears and H.I. Smith: Electron. Lett. **102** (1972).
- 3) N. Saitou, S. Okazaki, T. Matsuzaka, Y. Nakayama and M. Okumura: Digest of 3rd Microprocess Conf. **48** (1990).
- 4) S.D. Berger and J.M. Gibson: Appl. Phys. Lett. **57**, 153 (1990).
- 5) T. Hisatsugu: Proc. 1st Int. Workshop on Future Generation Litho. **3** (1997).
- 6) G. Gross: EIPBN '97, 256 (1997).
- 7) 笹子 勝, 大藤 武, 久原孝一: レーザー研究 **26**, 421 (1998).
- 8) Von F.P. Schafer: Phys. B **1**, 42 (1986).
- 9) 佐々木 亘: レーザー研究 **24**, 1056 (1996).
- 10) T. Sakurai, N. Goto and C.E. Webb: J. Phys. D **20**, 709 (1987).
- 11) H. Ninomiya and K. Nakamura: Opt. Commun. **134**, 521 (1997).
- 12) H.G. Craighead: J. Vac. Sci. Technol. B **3**, 1 (1985).
- 13) M. Rothchild, R.R. Kunz and D.C. Shaver: J. Vac. Sci. Technol. B **8**, 1476 (1997).
- 14) T. Efthimopoulos, B.P. Stoicheff and R.I. Thompson: Opt. Lett. **14**, 624 (1989).
- 15) H. Nahme and N. Schwentner: Appl. Phys. B **51**, 177 (1990).
- 16) A. Takahashi and T. Okada: Jpn. J. Appl. Phys. **37**, 390 (1998).
- 17) 中澤啓介, 小野寺俊雄, 笹子 勝: 第45回応用物理学関係連合講演会, **2**, 739 (1998).
- 18) 笹子 勝, 遠藤政孝, 関口 淳, 南 洋一, 小倉基次: 第59回応用物理学学会学術講演会, **2**, 592 (1998).