

# 話題の技術

## 液浸露光技術

(株)ニコン 精機カンパニー 開発本部長  
牛田 一雄氏

光学ステッパー(スキャナー)が半導体の主力露光装置となって、既に20年以上が経過した。その歴史は、半導体の微細化に追随する為の、光学系の高解像化と重ねあわせ精度向上の歴史と言っても過言では無い。特に高解像化においては、露光光の短波長化を繰り返し、現在の最先端ツール



牛田 一雄氏

では、193nmのArFエキシマレーザー光源が採用されている。スタートが436nmの超高圧水銀灯(g線)であった事を考えると、20年かけて1/2以下になっている。一方、半導体微細化の方はおよそ2μmから0.1μmにまで到達し、なんと1/20になっている。このギャップを埋めるのは、投影光学系の高NA化、照明条件の最適化、レジスト性能の向上、そして位相をコントロールされたマスクの登場である。ただし、最近はこの諸技術の領域では、可能な事はすべてやり尽くされた感があり、更なる微細化を達成する為には、王道に戻って、より短波長へのシフトが不可避となっている。レンズ材料が螢石に限定され、非常に高レベルのパージ技術を必要とするにも拘わらず、波長157nmのF2エキシマレーザーが光源として一時期脚光を浴びた所以である。

ところが、最近1~2年の間で王道であったはずのF2光源に強力なライバルが登場した。ArF液浸である。光源を短波長化する代わりに、像空間における露光光を短波長化する技術である。

表1

### Advantage of immersion lithography

Effective wavelength ( $\lambda/n$ ) (Potential advantage)

	medium	n	$\lambda n$	ratio
ArF dry	Air	1.0	193nm	1.00
F2 dry	N <sub>2</sub>	1.0	157nm	0.81
ArF immersion	H <sub>2</sub> O	1.44	134nm	0.69
F2 immersion	PFPE	1.37	115nm	0.60

## 1. 液浸露光技術とは

液浸により高解像力を得る技術は、光学顕微鏡の世界で古くから使われていた。光の波長は媒質を通過する時、媒質の屈折率の逆数に比例して短くなる。通常波長と称するのは、真空中(空気中でも大差はない)の波長である。表1にArFとF2の空気中の波長と、各々に使われるであろう浸液中を通過する際の波長を示す。注目すべきは、空気中のF2よりも水中のArFの方が波長が短いという事実である。ArF液浸がF2の代替となりうる事を裏付けている。像空間を液体で満たす方法としては、図1のように、投影レンズとウエハー間の限られた領域に限定する、ローカルフィルと呼ばれる方式が最も現実的と考えられる。液浸露光の利点は、新規技術開発がこの限定領域に限られている事から、光学系材料、パージ技術等はArFと共通である事である。露光機メーカーとしては開発費が安く済む事が利点であり、半導体メーカーとしては、レジスト開発が必要無いこと、F2で悩みの種であったペリクル材料に関する心配が無くなる点が魅力である。

## 2. 解決すべき課題

液浸露光を実現する上で課題となるのは、以下のポイントである。

浸液中のマイクロバブル

エッジショット対策：ウエハー周辺部を露光する際のウエハー裏側への浸液の回り込み

供給浸液の温度コントロール

浸液と接するレンズ面の保護

水中リアルタイムAF

ニコンではシミュレーションと要素試作の結果、これらの課題が致命的なボトルネックではないと判断しているが、2004年後半に実際に液浸でスキャン露光を行って最終確認する予定である。半導体メーカーにも試

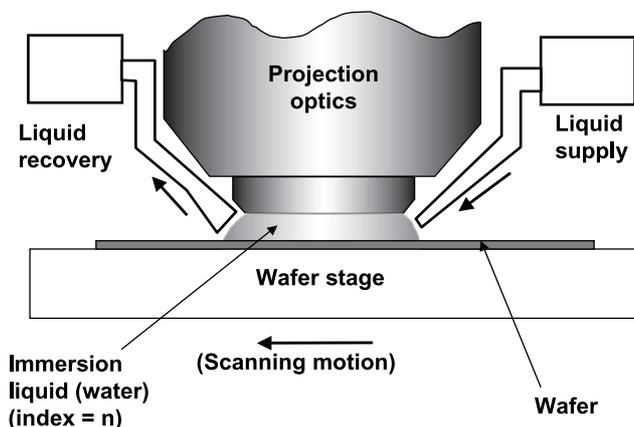


図1

作機で露光実験して頂き、違った視点からの確認をお願いする予定である。

### 3. ArF液浸露光のポテンシャル

図2に非液浸ArFの限界に近いNA = 0.92と液浸でNA = 1.2の各々について、パターンハーフピッチと焦点深度の関係を示す。非液浸では60nmL/Sパターンが限界であるのに対し、液浸露光では45nmL/Sパターンまで可能である。丁度一世代、光露光の寿命が延びる事になる。ArF液浸では、浸液として純水を使える点があり難いが、仮にF2で液浸露光をする場合は別の浸液が必要になる。現状では、100点満点の解は得られていないが、候補としてはPFPEがあり、透過率の向上が課題となっている。

### 4. 光学設計解

液浸の採用でNAの物理限界が、1.0から1.44に向上する。しかしながら、実際の光学系のNAが自動的に向上する訳ではなく、光学設計上の困難を乗り越えなければ達成できない。特にNA = 1.1以上を露光領域の縮小なしで実現しようとする、従来の屈折光学系(レンズのみで構成された光学系)では非現実的なレンズ径が必要となり、経済性無視の設計になってしまう。Catadioptric(反射屈折: パワーを有した反射ミラーを含む)光学系を採用すれば、このジレンマは解消される。図3にレンズ径とNAの関係を示す。非球面レンズの採用によって、高NA化に伴うレンズ径の拡大を抑制できた事で、非液浸レンズでもNA = 0.9以上が実現可能となった。次のチャレンジとしてCatadioptric光学系を超低収差で設計・製造することが急務である。液浸の恩恵を最大限得る為に、最終的にはNA = 1.2以上の

光学系を実現する予定である。図4にCatadioptric光学系の例を示す。現状と同じスキャン幅26mmを確保した上で、NA = 1.2を実現する設計解が既に得られている。

代わりに

ArF延命策の切り札として、最近脚光を浴びている液浸技術について簡単に報告した。従来路線通りならば、当然ArFの次はF2へと波長シフトするはずであった。その波長シフトが躊躇されている背景は、レンズ屈折材料、レジスト材料、さらにはペリクル材料等に拘わる困難および非経済性のゆえである。2004年中には液浸技術が次の世代を担う事が確定すると筆者は予測している。

### Lens diameter vs. NA

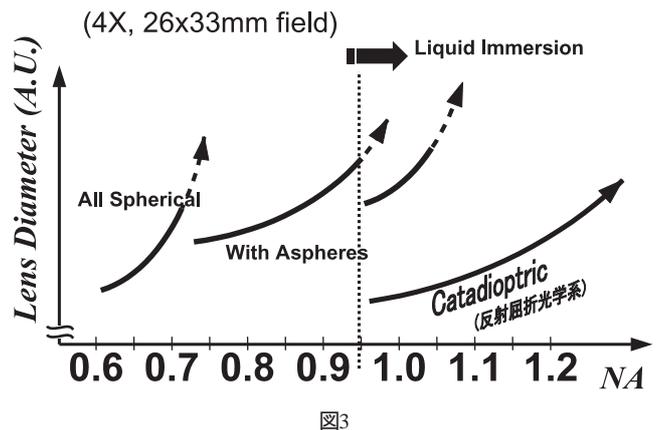


図3

### Resolution limit with Immersion

#### • Simulated DOF of L/S (ED-Tree, Aerial image)

ED-Tree method  $\Delta$ Dose:5%(Range)  
 $\Delta$ CD: +/-10%  $\Delta$ Mask: +/-2%

NA=0.92(Dry)  
 & 1.20(immersion)  
 Sigma=0.95  
 Dipole S-Polar.

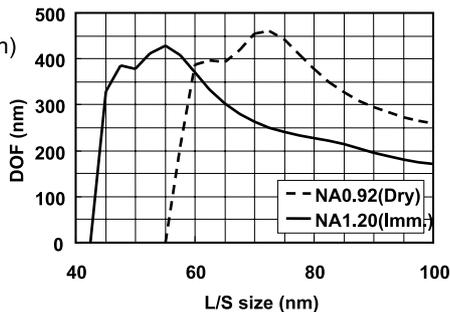
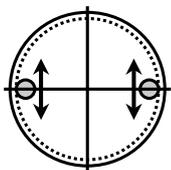


図2

### Examples of NA=1.2, 4X design

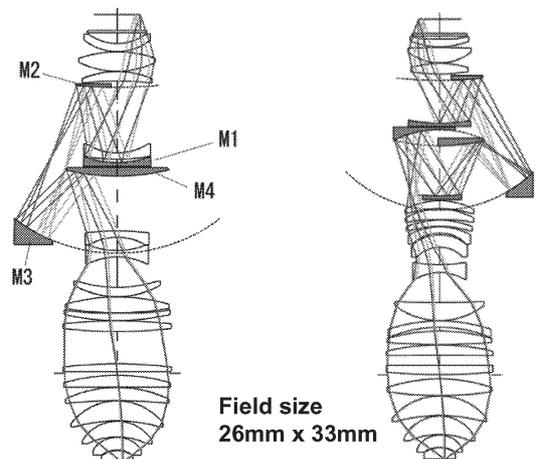


図4