



## 株式会社ニコンとステッパー事業

笹井 一 宏\*

Nikon Corporation and Stepper Business

Key Words : Stepper, Photo Lithography, Semiconductor

### 1. 会社概要

社 名：株式会社ニコン  
英 文 名 称：Nikon Corporation  
本 社 所 在 地：東京都千代田区丸の内3-2-3  
(富士ビル)  
代 表 者：取締役会長兼CEO 吉田 庄一郎  
設 立：1917年7月25日  
資 本 金：366億6,000万円(2001年3月末現在)  
売 上 高：4,839億5,600万円  
(連結, 2001年3月期)  
従 業 員 数：13,894名(連結, 2001年3月末現在)  
主 な 事 業 内 容

- ・半導体および液晶製造検査装置
- ・カメラと周辺機器
- ・顕微鏡, 測定機, 測量機
- ・理化学機器, 眼鏡製品, 特注製品

### 2. 沿革～半導体 IC 露光装置事業への参入

第一次大戦を機に、それまで輸入に頼っていた艦船用測距儀などの光学兵器の国産化の命を受け、既存の光学関係会社群を統合する形で日本光学工業株式会社(1988年に株式会社ニコンに改称)が発足した。第二次大戦後は双眼鏡, 顕微鏡, 測量機, 眼鏡レンズ等の民需品を製造する会社として再出発し, 1948年に参入したカメラ事業が現在も主要事業の一つである。

では本レポートで取り上げる半導体露光装置の話



\* Kazuhiro SASAI  
1958年3月生  
1981年大阪大学工学部産業機械工学科 卒業  
現在, 株式会社ニコン・ニコンプレジジョンヨーロッパ駐在, Technology & Application 部部长, 工学士  
TEL (+49)6103-973-0  
FAX (+49)6103-973-305  
E-Mail ksasai@npeurope.com

題に移る。ニコンは1960年代よりすでにフォトマスク製造用の精密レンズや検査計測装置を供給していた。70年代後半の最先端IC回路パターン寸法は4~2.5 $\mu$ m程度で、用いられる露光装置は等倍ミラープロジェクション方式が主流であったが、この方式による回路パターンの微細化は限界が近いと見ていたニコンは、縮小投影光学系とStep-and-repeat方式のウエハステージを組み合わせた露光装置、いわゆる「ステッパー」でもって露光機ビジネスに参入した。超LSI研究組合から受注した試作1号機を経て、1980年2月には最初の量産機NSR-1010Gを発表した。この装置は1 $\mu$ mの解像度と0.37 $\mu$ mの総合位置合わせ精度を有するものであった。(写真1)

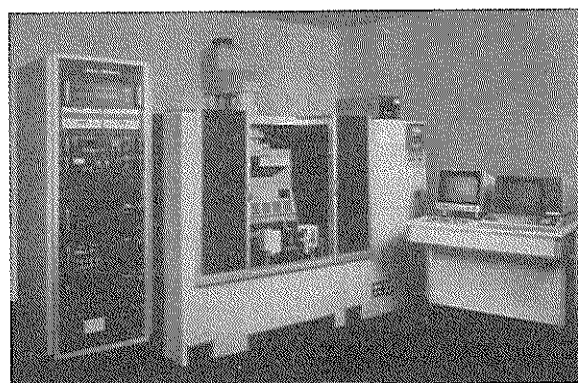


写真1 ニコン最初の市販ステッパー, NSR-1010G

### 3. 露光装置技術史とトレンド

ICチップの集積度はこれまでほぼ3年で2倍のペースで上昇を続け、これからも同等もしくは更に速いペースで微細化が進むといわれる。集積度が2倍になることは最小パターン寸法が0.7倍になることとほぼ等価で、この微細化を実現するには露光装置の解像力の向上が必須であることはいままでの。

光の回折理論に基く投影光学系の最小分解能Rは

次式で表される。

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

k : kファクター

$\lambda$  : 露光光波長

NA : 投影光学系の開口数

kファクターは主にフォトレジストの性能等プロセス技術で決まる。現在のIC量産現場では0.4程度、コストや生産性を二の次とするR&D目的の場においては0.3程度まで実現されている。これに対して装置側でより微小な解像力を実現するには、より短い波長の光を導入するとともにNAを拡大することが要求される。これまでの露光装置技術史は正に短波長化と高NA化の歴史であり、この流れは今後も続く。

パターンサイズ、波長、NA、K-factorの変遷と今後の予想をを図1～2に示す。ニコン最初のステッパーは水銀ランプのg線光(436nm)を使用していた

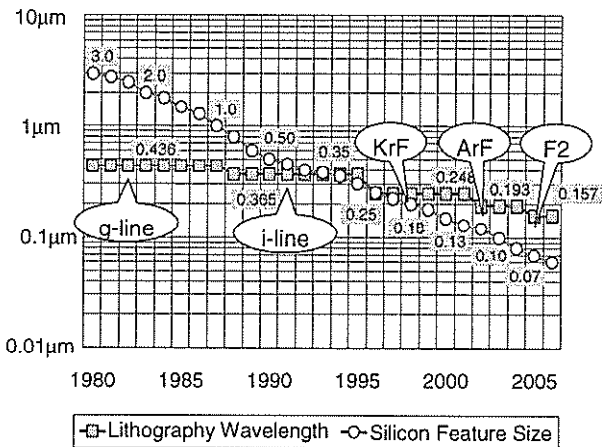


図1 ICチップの最小パターン寸法と露光波長の変遷

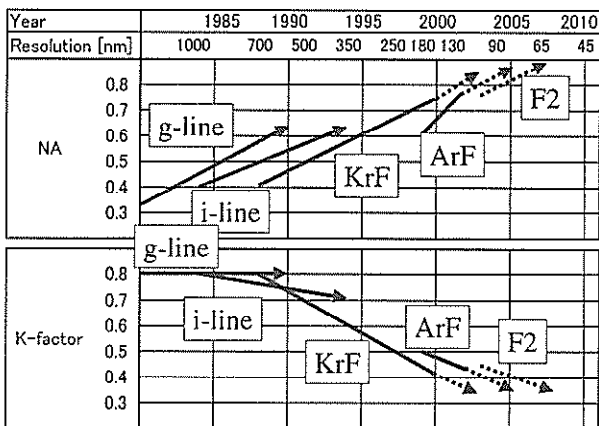


図2 NAとKファクターの変遷

が、まもなくi線光(波長365nm)やKrFエキシマレーザー光(波長248nm)を光源とするステッパーが登場した。開発用途の先行機種を別にして量産設備について述べると、90年代初頭からi線露光機が主流となり、更に90年代後半からはKrF露光機が主流となった。2002年1月現在の量産設備の主力はKrF露光機であるが、更に短い波長のArF露光機(波長193nm)も最先端デバイス製造の場において量産目的で使われ始めている。その次の世代の露光装置としてはF2ダイマーレーザー露光機(波長157nm)が最有力視され、00年代半ばには量産目的での実用化が期待されている。

一方のNAはというと、ニコン最初のg線ステッパーは0.35で始まり、g線最終機はNA=0.63であった。極端に大きなNAは焦点深度を著しく減少させる(焦点深度は $\lambda / (NA)^2$ に比例する)ため、実用上の焦点深度の限界がg線露光機のNAの上限を支配した。i線露光機も数年遅れではほぼ同じ推移を辿っている。他方KrF露光機の場合、量産第1世代はNA=0.55であったが、その後露光方式の主流が一括露光方式からスキャン露光方式に移り、最新のKrF露光機はNA=0.75、更に最新のArF露光機ではNA=0.78に至っている。NAの上限があたかも撤廃されたかのように見えるのはウエハの表面平坦化技術が発達したからであるが、言い換えれば微細化のためには高NA化が必須であり、そのために平坦化技術が必須であったから進歩したとも言える。

このように露光装置は短波長化と高NA化を並行して進めてきたが、短波長つまり高エネルギーの光に対する耐性の関係で蛍石等の高価な光学材料が必要となり、更に高NA化によりその材料使用量が増大するため、必然的に装置価格の上昇をもたらした。もちろん光学設計とレンズ加工の技術進歩によりレンズ口径の巨大化を抑制することでコスト増大を抑える努力をしてきたが、これを完全に吸収することは難しい。その一方で市場メカニズムは相対的装置価格、即ち「アウトプット当たりのコスト」の上昇を許さない。過去20年間のステッパーの装置価格とそのスループット(単位時間当たりに露光されるウエハ面積)を追跡してみると見事に「装置価格/スループット」の値は安定している。実際の装置価格は前述のような理由で上昇を続けたが、同時にスループットの向上を果すことで価格上昇分を相殺してきたとも言える。しかしながら高価な材料を多用する

ArF以降の露光機に至って、このバランスの維持が一段と厳しい課題となってきた。

#### 4. 今後の露光装置技術とニコンの開発計画

ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors)のロードマップにニコンが提案する露光装置ロードマップを重ねたものを図3に示す。ArF露光機自体は既存技術であるが、次の波長であるF2露光技術にはまだまだ未解決のバリエーションが多いこともあって、微細化のために更に高NAのArF露光機を供給することは当面の最優先課題の一つである。しかしながらその一方、いかに高NAをもってしてもArFの限界は80~90nmと予測されるので、その次の世代であるF2露光機の開発を進めることは短期的視点でのもう一つの最重要課題である。

Year	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
DRAM (1/2 pitch)	180	130			90				65			45			32
MPU (Gate in resist)	140	90			53				35			25			18

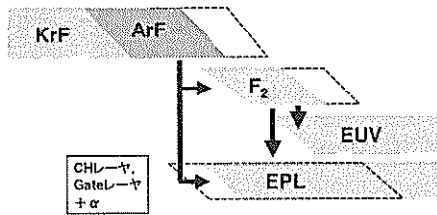


図3 ニコンのリソグラフィー・ロードマップ

ニコンのロードマップでは、F2露光機と並行しつつ更に高解像力の領域においてEPL(電子ビーム投影式リソグラフィー)を有力な技術と位置付けている。細く絞った電子ビームによる直接描画法は解像力に優れ、従来よりフォトマスク製造やICチップのR&D領域では使用されているが、スループットが非常に低いという原理的ハンディキャップがあるのでICチップの量産方法とはなり難い。これに対して、ある程度の断面積をもった電子ビームを使用してマスク上のパターンを電子光学系によりウエハ上に投影するのがEPLである。光による露光に比べれば一回に露光可能な面積が小さいためスループット上のハンディは残るが、露光にかかわる基礎技術やレジスト等の関連技術はすでにある程度確立されていて、F2や次に述べるEUVLに比べて未知要因が少なく「確実性の期待できる方式」である

とも言える。マスク製造が比較的容易であること等を鑑みると、少量~中量生産のICチップ製造においては比較的低いスループットではありながら最終的なコストパフォーマンスでF2やEUVよりも優位に立つ領域があると見ている。ニコンは米国IBMと共同してEPL露光装置の開発を進めており、2003年には初号機出荷予定である。また、デバイスメーカーのコンソーシアムであるSelete((株)半導体先端テクノロジーズ)やマスクメーカー、レジストメーカーなどと共同でインフラストラクチャの整備に努めている。EPLにより現在実現されている露光パターンの例を写真2に示す。

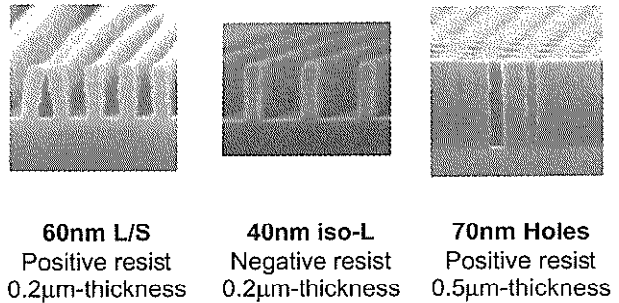


写真2 EPLによる露光パターンの例

半導体業界が50nm以降の大量生産向けリソ技術の本命として期待しているのが波長13.4nmの極遠紫外線(EUV)を用いるリソグラフィー、いわゆるEUVLである。原理的に高解像度と高スループットの両立が期待されているが、その反面、実用的な透過率をもつ物質が存在しないためすべての光学系(マスクを含む)を反射光学系で構成する必要があり、かつその表面加工精度や反射膜に対する要求レベルも従来光(F2まで)に比べると格段に難易度の高いものとなり、既存技術からの跳躍は大きい。現時点ではこれら構成要素の個別開発が主なアクティビティであり、ニコンはASET(超先端電子技術開発機構)の一員としてこれらの開発に参画すると並行して独自の開発も進めている。

筆者はこの数年来、開発現場から離れてフィールドでの技術サポート業務に携わっていることもあり、本文も先端技術の話題よりむしろ歴史と現状についての記述が主になったが、(株)ニコンのステッパー事業のイメージを理解していただく手助けとなれば幸いである。