

半導体露光技術に関する特許出願技術動向調査

平成 14 年 5 月 10 日

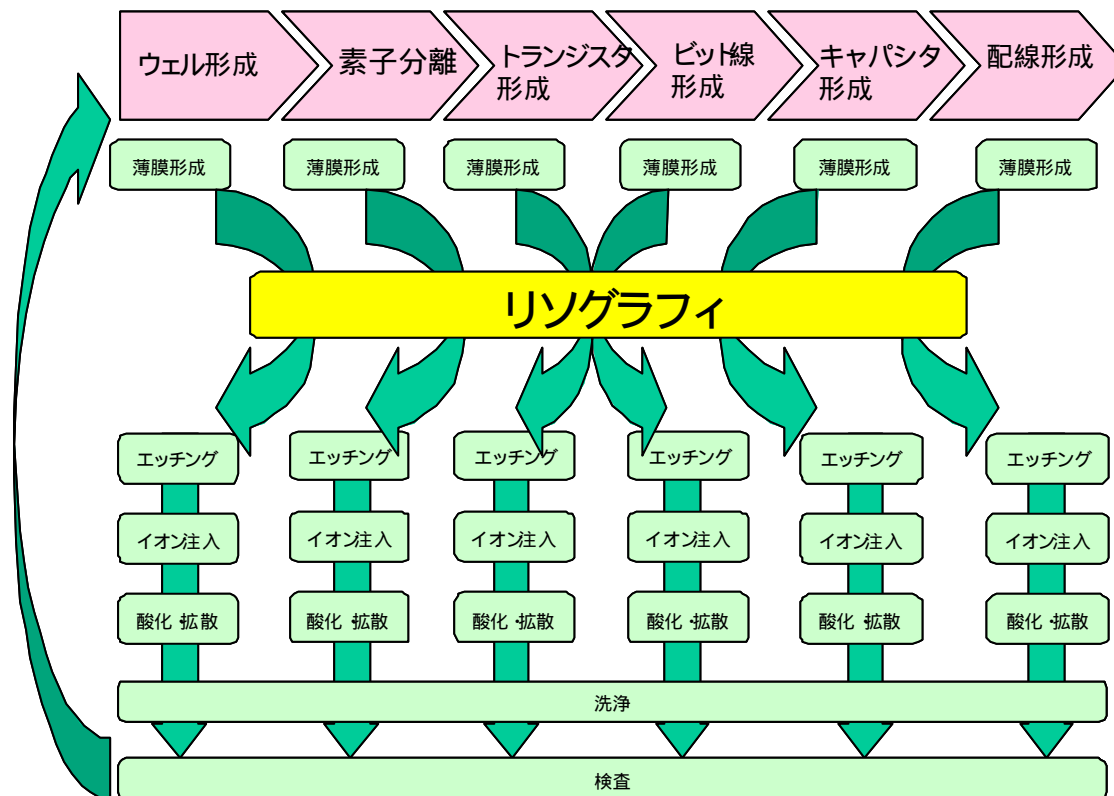
総務部技術調査課

1. 技術俯瞰図

<半導体デバイスのコアテクノロジー>

半導体露光技術は、半導体デバイスプロセスのコア技術であり、半導体の高速化・高集積化、コストダウンを牽引する技術である。半導体プロセス上は、ベアシリコン上にリソグラフィパターンを形成し、デバイスの要素となる構造を造り込んでいくプロセスである。汎用的デバイスである DRAM の製造には、20～25 枚のマスクを使用する。リソグラフィは、微細な加工形状を実現するために必要不可欠な技術である(図 1)。

図 1 半導体プロセスフローにおけるリソグラフィ技術の位置付け



出所) NRI 作成

<スケーリングールのドライビングフォース>

デバイスには、スケーリングールがあり、ゲート長を $1/k$ に短くすると、デバイスの遅延時間は $1/k$ に、集積度は k^2 、消費電力は $1/k^2$ になる。すなわち、微細化をすることで、デバイスは飛躍的に性能が向上する。2～3年で $1/k=0.7$ 倍に微細化が進展しており、遅延速度が短縮され、デバイス速度は 1.5 倍、集積度は 0.5 倍の面積に集積され、面積が同じならば 2 倍に高集積化が可能である。半導体の技術進歩を法則づけた「ムーアの法則」は、この露光技術の発展に大きく依存してきた。言うなれば、1980～90 年代

に進展した情報化社会の原動力であったといっても過言ではない。

< ナノテクノロジーを実現 >

さらに、半導体露光技術は、次世代の有望技術として期待されているナノテクノロジーのコア技術でもある。ナノレベルの加工を実現するには、半導体分野で培ってきた露光技術が有効である。また、露光装置技術の開発のためには、ナノテクノロジーが活かされており、露光装置技術の中から多分野へと波及してゆく技術が培われている。

< 技術進歩とともに劇的に変化する半導体露光技術 >

露光装置技術は、加工寸法の微細化とともに進化してきた。過去には、紫外線の g 線から i 線、さらに、エキシマレーザ光と短波長化することで、微細化を可能にしてきた。

図 2 技術俯瞰図

	縮小投影 (ArF・F2)	電子ビーム 露光 (EPL・MBEBDW・EBDW)	X線露光 (PXL)	次世代露光 (EUV露光)
照明系	変形照明	電子ソース	波長帯域制御 強度	プラズマ レーザ 点発光
マスク	位相シフト 近接効果補正	透過型 遮蔽型	メインレン マスク	反射マスク
投影光学系	瞳フィルタ 多重焦点露光	ビーム制御系	反射光学系	反射光学系
計測技術	位置計測・ 波長計測	同左	同左	
ステージ制御	駆動制御	駆動制御 マルチ制御	駆動制御 垂直方向制御	駆動制御
雰囲気制御	レジスト雰囲気 N ₂ 等	レジスト雰囲気 光学系雰囲気	レジスト雰囲気 光学系雰囲気	同左
走査 防振技術	振動抑制 振動補正	同左	同左	同左
生産管理	モジュール化・ 波長計測	同左	同左	同左

ArF：フッ化アルゴンエキシマレーザ露光、F2：フッ素エキシマレーザ露光

EPL: Electron Projection Lithography、

MBEBDW: Multi Beam EB Direct Writing Lithography、

EBDW: EB Direct Writing Lithography、

PXL: Proximity X-ray Lithography

EUV露光: Extreme Ultraviolet Lithography, ML2: Maskless Lithography

出所) 各社ヒアリング結果より NRI 作成

現在の量産段階での最小加工寸法は 130-150nm クラスであり、KrF エキシマレーザ光が使用されている。次世代が ArF エキシマレーザ露光であり、さらにその次が、F₂エキ

シマレーザ露光、あるいはX線・EUV・電子ビーム露光などの技術が候補となっている。しかし、図2に示す通り、光源の切り替えによって照明系・マスク・投影光学系が変わり、その制御技術もドラスティックに変化する。

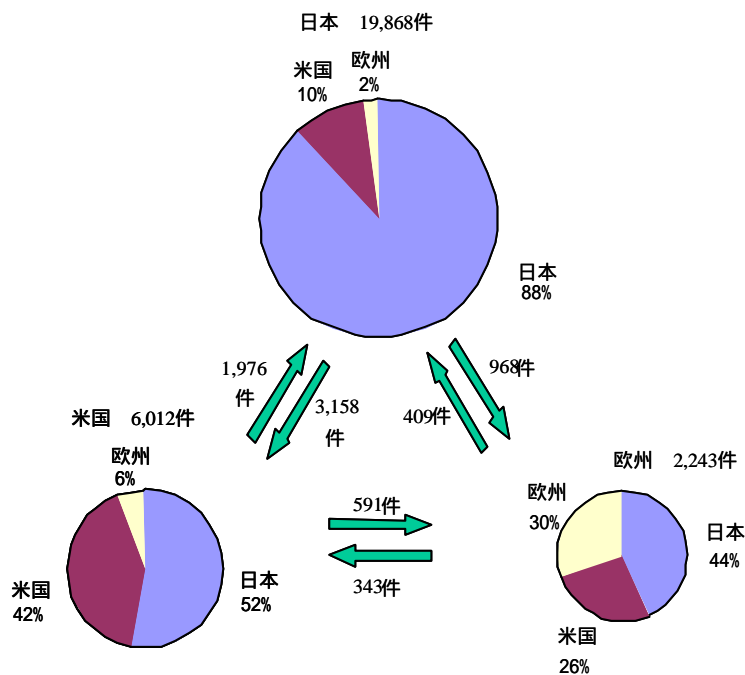
現在、この半導体露光技術は、ニコン、キヤノンといった日本メーカーが世界をリードするポジションにあるが、この技術変化によって外国メーカーがリーダーとなる可能性がでてきている。半導体露光製造メーカーにとっては、技術分野ごとの技術進歩と各社の動向を注視し、戦略を立案していかなければならない。

2. 特許動向

<日本が露光装置技術の特許出願で世界を圧倒>

日本国内に出願されている半導体露光技術の特許は、1990年以降の累積で19,868件であり、米国の約3倍、欧州の約10倍である。日本から米国へは、3,158件の出願がなされており、米国特許の約半数は日本からの出願である。また、米国から米国内に出願しているのは全体の42%の1,976件である。欧州における特許件数は米国より少ないものの、日本からの出願件数が欧州から日本への出願件数の2倍であり、日本の特許の方が件数で圧倒的に上回っている(図3)。

図3 主要3地域における特許出願状況



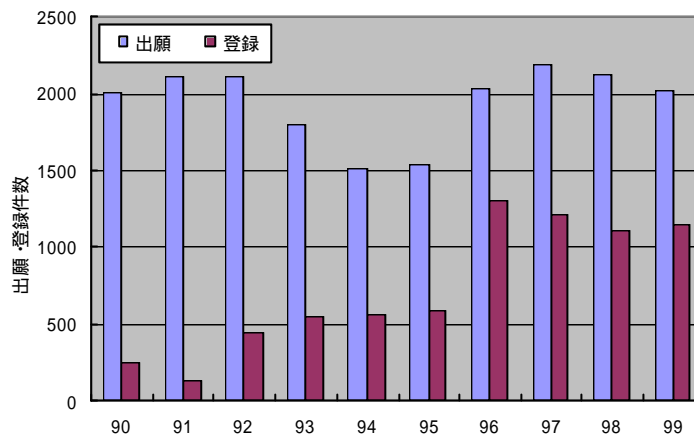
出所) PATOLIS 及び WPI 検索より NRI 作成

<技術変化とともに出願件数が変動>

1990年以降の日本への特許出願件数は、1993~1995年は減少したが、1996年より再び増加している(図4)。この頃、Sematechが主催する193nm国際ワークショップがスタートしており、新技術開発への取り組みが盛んになった時期に呼応している。さらにこの頃から、米国におけるEPLの研究が盛んになり、新技術への転換が進んでいる。こ

の間、特許出願は技術変化に連動して動いている。

図4 日本への半導体露光装置技術出願・登録推移



出所) PATOLIS 検索より NRI 作成

<従来型の紫外線露光技術の出願が減少し、電子線露光の特許が増加>

紫外線露光技術の出願には2つのピークがあり、90年代前半にはi線・KrFに関する研究が主であり、1990年代後半には193nm・157nmに関するものが増加しているものと推測される。電子線に関する出願は、EPLの研究が盛んになった1990年代後半に増加している。さらに、2000年時点での件数は少ないものの、EUV露光特化の特許出願も増加している(図5-1, 5-2)。

図5-1 日本への露光装置技術の出願件数推移

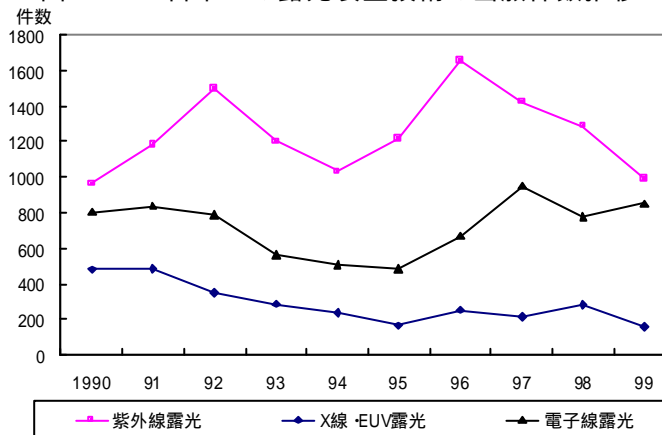
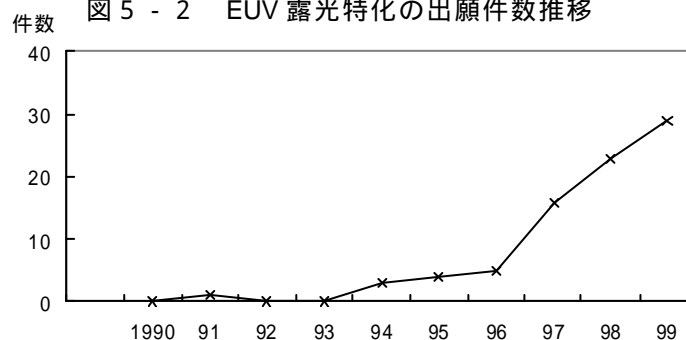


図5-2 EUV露光特化の出願件数推移

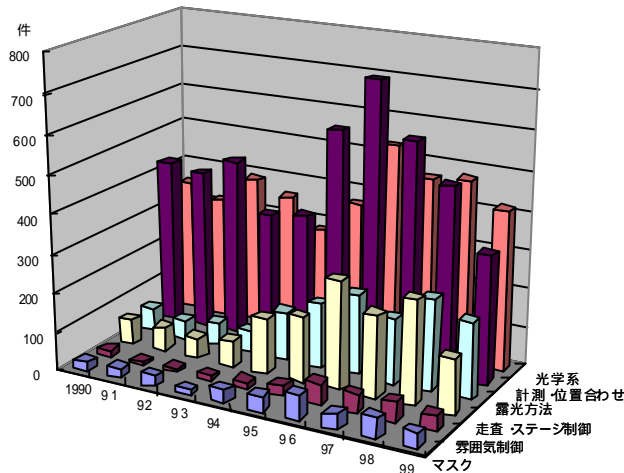


出所) PATOLIS 検索より NRI 作成

<スキャン方式の特許出願が増加する紫外線露光>

紫外線露光装置技術においては、光学系、計測・位置合わせが大半を占め、開発の中核をなしている。また、技術的な傾向としては、90年代後半より走査・ステージ制御技術が増加しており、スキャン方式の露光技術が導入され、出願が増加している(図6)。

図6 紫外露光装置技術の要素技術分野別推移

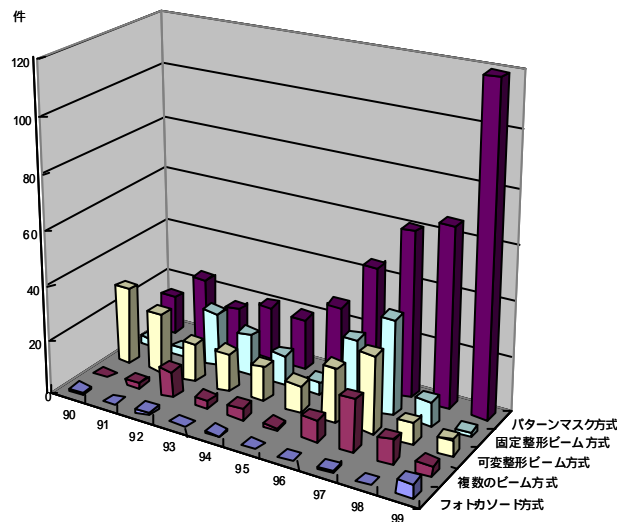


出所) PATOLIS 検索より NRI 作成

<パターンマスク方式の特許が急増する電子線露光>

電子線露光装置技術においては、90年代初頭に可変整形ビーム形式が主流であったが、96-97年頃、固定整形ビーム方式、可変整形ビーム形式、複数のビーム方式の特許出願が増加した。その後、90年代後半にパターンマスク方式が急速に増加している。このパターンマスク方式の技術は、ルーセント・IBMが先行して開発に着手し、注目をあつめるようになった。その後、IBMとニコンが共同研究を開始し、製品化を図っており、開発も盛んに行なわれるようになった。

図7 電子線露光装置技術の方式別推移

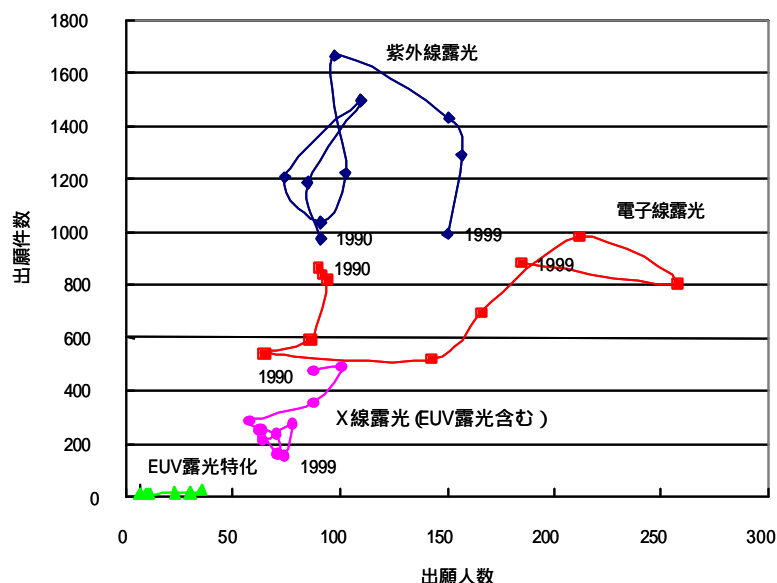


出所) PATOLIS 検索より NRI 作成

<主流の紫外線露光を追従し、電子線露光・EUV露光の出願増加>

主流の紫外線露光技術は、過去10年間に渡って出願件数が最も多く、常に1000件以上の出願がある。しかし、出願人数は、1999年現在150人であり、出願人数では電子線露光を下回っている。電子線露光は1990年代後半より出願が増加しており、パターンマスク方式の研究で再び研究が活性化した。出願人数が増加したのは、新たな市場参入者の増加と、ユーザであるデバイスメーカーの中での研究が増加したためである。X線露光技術の開発は、1990年後半以降、出願件数及び出願人数が減少傾向にある一方で、EUV露光に特化した特許に関しては、1990年代後半より開発が盛んになっており、出願者が急速に増加している(図8)。

図8 半導体露光装置技術への出願人数推移

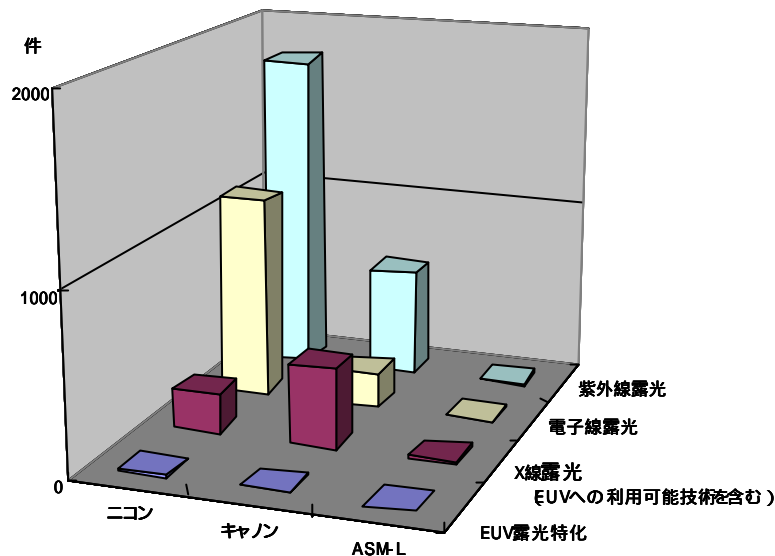


出所) PATOLIS 検索より NRI 作成

<紫外線・電子線露光のニコン、紫外線・X線露光のキヤノン>

半導体露光装置メーカー大手のニコン・キヤノン・ASMLの国内出願特許件数を比較すると、各社の出願構成に特徴がある。ニコンは、現在主流の紫外線露光と電子ビーム露光に出願が多く、キヤノンは紫外線露光とX線露光の比率が多い。欧州のASMLは件数が少なく、比較は難しいものの、構成比は3分野にほぼ均等に出願を行っている(図9)。

図9 露光装置技術の主要露光メーカー別特許出願件数（光源タイプ別）



出所) PATOLIS 検索より NRI 作成

<多様化する各社の露光装置技術開発戦略>

露光装置メーカーは、自社の強みを生かしていくつかのアプローチで次世代技術の開発を行なっている。ニコンは、ArF 露光装置技術に続いて EPL 及び F₂ 露光装置技術の導入を考えている。そのため、3つの製品開発を同時に行なっている。これは、市場トップのニコンにとっては投資負担を増大させ、企業収益を圧迫すると同時に、一製品当たりの開発投資を圧迫している。一方、ASML・キヤノンは、ArF の次の世代は F₂ にターゲットを絞っており、開発をシリアルに行い、開発投資の集中化を図ろうとしている(図 10)。

図 10 主要各社の露光装置技術開発戦略

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ニコン	KrF	KrF	ArF	ArF	EPL	F2	F2	EUV	EUV	EUV
ASML	KrF	KrF	ArF	ArF	F2	F2	F2	EUV	EUV	EUV
Canon	KrF	KrF	ArF	ArF	F2	F2	F2	EUV	MEBDW	EUV
Hitachi	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW
Advantest	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW	MEBDW

出所) EUVL フォーラム 笠間氏講演資料より抜粋

その他、電子線露光を用いた研究が盛んであり、マルチビーム技術を推進する日立・アドバンテストの露光技術に加えて、低エネルギー電子線を用いた LEEPL などの開発が進められている。さらに、将来は EUV 露光が有望視されており、露光技術は多様化しつつある。露光装置メーカーとしては、これらの多様化する技術について選択と集中を行なうと同時に、オリジナルティのある開発への取り組みが必要となつてこよう。

<戦略の違いがでる主要 3 社の特許戦略>

半導体露光装置メーカー 3 社には特許戦略上大きな差がある。1990 年以降の出願件数を比較すると、ASML は 111 件の出願しかなく、しかも、その大半が 2 年以内に出願された特許である。日本の 2 社に比較すれば、数十分の 1 の件数しかなく、露光装置市場として基幹になるような有力特許も持っていない。これは開発パートナーに技術リソースを依存している ASML のビジネスモデルがベースとなっている。ASML は光学系・ステージ技術分野を欧州の有力企業であるカールツワイス社及びフィリップス社に依存している。その結果、自社単独指向のニコン・キヤノンと特許取得状況に大きな乖離を生じている(表 1)。

表 1 主要 3 社の特許戦略比較

	ニコン	キヤノン	ASML
特許件数 日本(件)	4,541	2,612	111
米国(件)	2,536	1,347	65
欧州(件)	461	486	134
共通技術分野別の出願動向	計測位置合わせが最も多く、続いて光学系・ステージ・走査の順	計測位置合わせが最も多く、続いて光学系・ステージ・走査の順	光学系が最も多く、続いてステージであり、計測位置合わせの特許は少ない
露光装置販売台数(2000年)	507	275	368
露光装置関連事業売上高(2000年、億円)	2348.7 *1	2680 *2	2034.872
露光装置関連事業営業利益(2000年、億円)	444.86 *1	120 *2	899.1
露光装置関連の研究開発費用(2000年)	116億円 *1	796億円 *2	231億円
売上高研究開発比率(2000年)	4.9%	29.7%	11.4%
開発パートナー 露光装置	自社単独が主、IBMとEPL開発	自社単独が主	光学系はCarlZwiss・ステージ系Phillips・欧米の共同研究組織
周辺技術	TELとAPC開発	TELとF2露光技術開発	SVG買収
光源タイプ別の出願動向	紫外露光>電子線露光>X線・EUVの順	紫外露光>X線・EUV>電子線露光の順	全体的に特許件数が少ないものの、近年X線・EUV、電子線の出願が増加
組織 出願 外部交渉 戦略立案	カンパニーサポートセンタ コーポレート法務部 精機知的財産部	知的財産業務センタ 契約・渉外センタ 特許技術センタ	未詳

注) 露光関連の財務データ：露光装置事業を行なっている事業部の公開財務データ*1:ニコン精機事業部

*2:キヤノン電子機器その他

出所) 各社ヒアリングより NRI 作成

<自社技術の優位性を主張する特許紛争激化>

このような事業規模と特許のギャップが 2001 年末に訴訟という形で表面化した。ニコンは、ASML を米国国際貿易委員会(ITC)に提訴した。提訴内容は、ニコンが保有する米国特許を侵害する ASML のステッパおよびスキヤナ装置の米国への違法輸入の調査を要請し、ニコンの特許を侵害している ASML 装置の米国への輸入差し止めを求めている。

ニコンが侵害を訴えた対象特許は以下のとおり。

超解像技術の特許 (US-5638211・US-6233041)

スキャン制御の特許 (US-5473410)

ステージ振動防止のためのリアクションフレーム特許 (US-6271640・US-6008500)

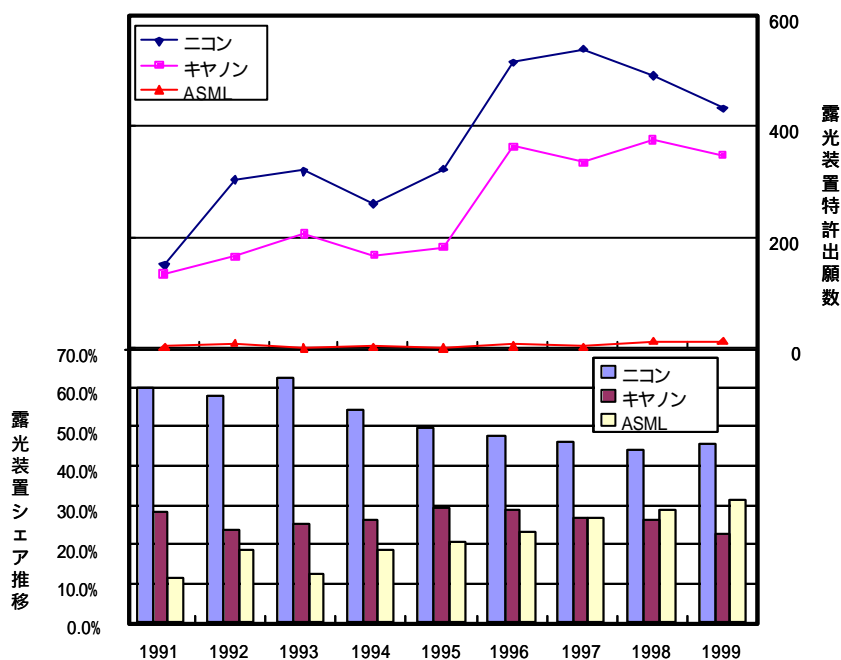
カウンターバランス機構特許 (US-6255796・US-6323935)

さらに、これとほぼ時を同じくして米国の小規模露光装置企業であるウルトラテック社が日本大手2社を自社特許の侵害としてヴァージニア州裁判所に訴え、両社と和解している。これまで露光装置ユーザとの関係から装置企業間の特許紛争が表面化することはなかったが、ニコンの ASML 提訴により、露光装置市場において本格的な特許紛争が起ころうとしている。もし、ニコンの訴えが認められれば、ASML にとって大きな痛手を被ることとなる。米国市場でのシェアダウンに強いられるであろうし、さもないければ、相当の Patent 使用料を支払うことになるであろう。さらに他社から提訴を受ける可能性もあり、経営基盤を揺るがしかねない状況が予想される。また、仮にニコンの訴えが退けられたとするならば、欧州有力企業とのアライアンス、米国有力企業 SVGL 買収を行なった ASML の戦略勝ちとなり、ASML のシェア拡大を加速させることとなる。その意味で「特許」が、日本のエレクトロニクス技術のコアである半導体露光技術の盛衰を決める重要な課題となっている。

< 将来技術に積極的な特許出願を行なう ASML >

ASML は開発パートナー企業の技術をモジュールとして作り込んでいくことで製品を開発していた。そのため、特許出願も少なかったが、2000 年に入って出願件数は急激に増加している。ASML は、EUV 露光等の新技術開発に挑戦しており、自社開発技術については特許出願を行なっている。

図 11 露光装置出荷台数と特許出願件数



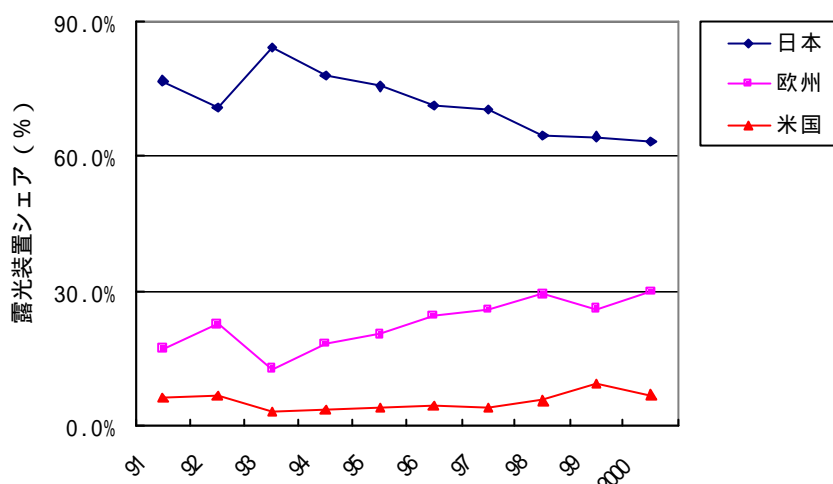
出所) PATOLIS、WPI 検索及び各社ヒアリング結果より NRI 作成

3. 市場環境

<日本が半導体露光装置市場をリード>

半導体露光技術は、エレクトロニクスのコア技術であり、IT 情報化社会の発展を支えてきた。インターネットの発達により急速に進化する高速伝送、爆発的に増加する大容量高速情報処理、モバイルソリューションを実現する小型化・低消費電力化への技術革新を支える半導体技術のドライビングフォースとして、半導体露光技術が社会に寄与してきた。日本は、この半導体露光装置技術の担い手として、過去 20 数年間世界をリードしてきた(図 12)。

図 12 日米欧地域別の露光装置企業シェア推移



出所) 各社ヒアリング結果より NRI 作成

<欧州の ASML が飛躍し、競争環境が激変>

1990 年代に入って露光装置の競争状況は変化しつつある。欧州の ASML が 1990 年代に着実にシェアを伸ばし、2000 年には日本大手 2 社 (ニコン・キヤノン) と市場シェアが拮抗するまでに成長している。さらに、ASML は、米国最大手の露光装置メーカーである S V G L を買収し、過去 20 年以上に渡って米国が蓄積してきた露光技術とノウハウを手に入れた。これは、1980 年代より世界をリードし続けてきた日本の露光装置メーカーにとって大きな脅威であり、日本のエレクトロニクス技術の発展を支えてきた基盤技術の存続に影響を与える大きなインパクトとなっている。

<新たなビジネスモデルが ASML の強みに>

ASML の飛躍の背景には、ASML の主要顧客であった TSMC 等ファブリーメーカー及び特定の欧米メーカーの成長、高スループットモデルの投入による差別化、光学系性能の革新、メンテナンスビリティの高い製品コンセプト、フィリップス・カールツワイス等の有力メーカーとのモジュールアライアンスによる効率的開発などの要因がある。その戦略的展開には学ぶべき点が多い。日本の半導体露光装置メーカーは、勝ち残りに向けて ASML を凌ぐ戦略を立案していかなければならない状況に迫られている。

<日本の商習慣が日本の露光装置メーカーの重荷に>

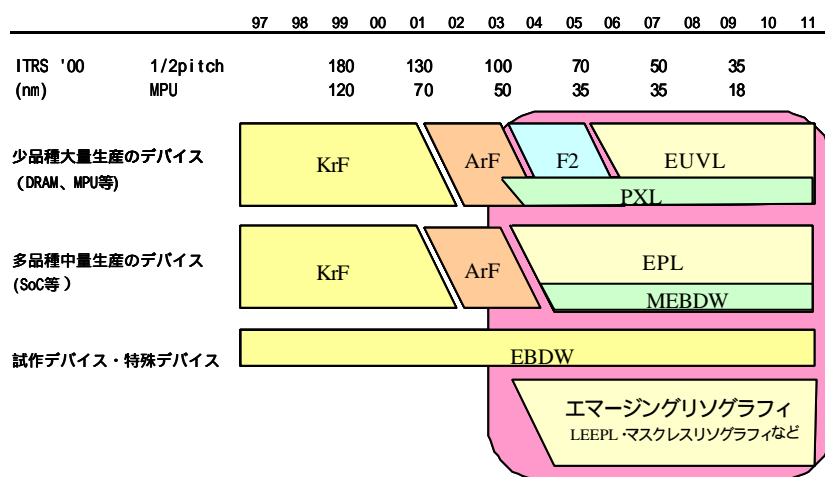
また、日本と海外の商習慣の差も、ニコン、キヤノン等の日本露光装置メーカーの重荷になっている。特に、カスタム仕様が装置メーカーの開発コスト負担を増大させている点、個別仕様採用のため、装置納入と装置検収に時間ロスを生じている点、機・機の装置メーカー負担など、日本の装置メーカーの競争力を削ぐ要因となっている。

4. 研究開発動向

<露光装置技術の多様化とエマージングリソグラフィ>

半導体露光装置市場における企業間競争が活発化する一方で、半導体露光技術は着実に進歩しており、次世代・次々世代にはまったく新たな技術が導入されようとしている。主要ユーザタイプごとに、使用する露光技術は異なるものの、次世代量産で主流となる技術は、ArF・F₂の紫外露光技術である。その後の候補技術としては、EUV露光が最も有望視されている。EPL・MEBDW・PXLは、サポート技術あるいは有力な代替技術と位置付けられている。さらに、注視しなければならないのは、70nm以細の露光技術において可能性を秘めているエマージングリソグラフィの存在である(図13)。本報告書では、半導体ロードマップ上、優先順位は高くないものの、デバイスビジネスの多様化によって実用化の可能性が出てきている将来技術を総称して、エマージングリソグラフィを呼ぶ。

図13 半導体露光技術ロードマップ



出所) S E A J 資料等を参考に NRI 作成

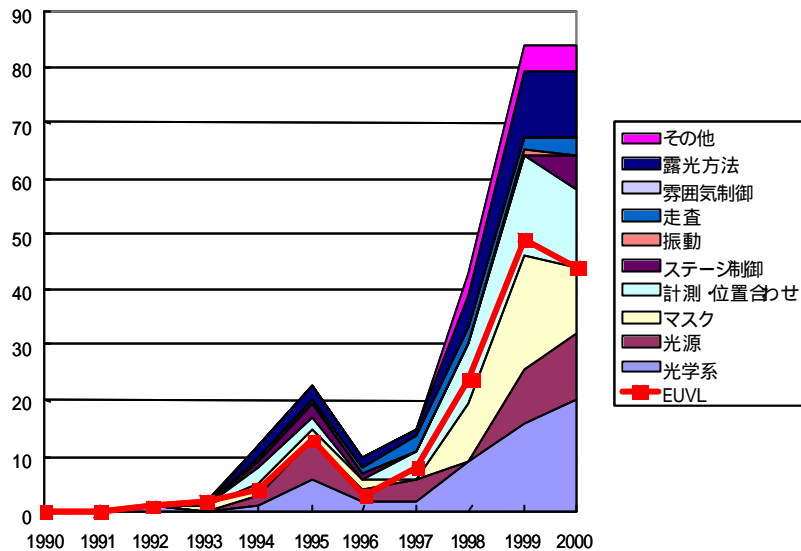
同技術は、国際ロードマップ上のポテンシャルは低いですが、半導体ビジネスが多様化する中で、露光装置技術も多様化し、エマージングリソグラフィが実用化される可能性は高い。

<注目を集める EUV 露光>

これらの半導体露光技術は、今まさに開発競争が進んでいる。その中でも、開発の中心となっているのが EUV 露光研究である。米国の研究機関による特許出願・論文発表が

多くなっており、SPIE(The International Society for Optical Engineering)¹の露光技術発表表においては、90年代から 2001 年 9 月までに発行された論文から EUV 露光に関する論文を抽出すると 149 件にも昇る。

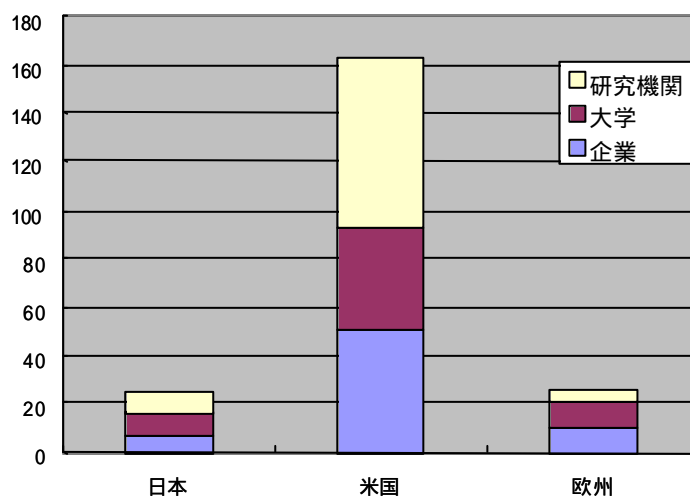
図 14 露光要素技術別の EUV 露光に関する発表件数の推移



注) 複数の露光要素技術に関する論文は重複してカウントされるため合計と一致しない
出所) SPIE 論文検索より NRI 作成

1995 年に 13 件発表された後にしばらく件数が減少したが、98 年以降急増している。特に米国からの研究発表が多く、延べ 160 の団体によって論文発表があり、日本と欧州を大きく引き離している。日本は、X 線露光の開発で先行したが、EUV 露光の開発では、米国の遅れを取っているのが実状である。

図 15 EUV 露光論文の地域別発表団体数



出所) SPIE 論文検索より NRI 作成

¹ SPIE : 1981 年に Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers より改名。

日本メーカーは VUV、電子線露光の研究が活発になっている。また、要素技術では光学やマスクに関連するものが多い。各分野を特許・SPIE 等の論文発表の状況で整理すると以下のとおりである。

紫外露光 (g 線・I 線・KrF・ArF)・VUV (F₂)

次世代の技術である VUV 分野では、光学系・光源・ステージ制御などで日本メーカーの研究が盛んであり、マスク・振動・露光方法などでは米国の大学の活躍が目覚ましい。欧州メーカーは計測位置合わせと走査をリードしている。個々の分野でリーダーシップを取っているメーカーが異なる。

EUV 露光

EUV 露光の研究開発は米国主導で行われており、Intel、Motorola、AMD 等のメーカーが組織した EUV LLC を中心に研究が進められている。また、Sandia (SNL) や Lawrence Livermore (LLNL) などの国立研究所のコンソーシアム Virtual National Laboratory (VNL) が EUV LLC より、EUV 露光のコア技術である光源・光学系等に関する研究の委託を受けている。

EUV LLC/VNL では、フルフィールドの EUV 露光装置 (ETS) の開発、Xe のレーザープロデューストプラズマによる EUV 露光装置光源の開発と多層膜マスク基板の開発、非球面光学系の計測技術の開発等が進められている。

欧州では ASML につながる EUCLIDES と PREUVE の 2 つの大きなプロジェクトが活動している。EUCLIDES プログラム終了後は参加企業による 機開発プログラムに移行し、ASML やカール・ツァイスを中心にフィリップスや TNO-TPD 等が参加し 200 名体制で開発が行われている。機の投影光学系の NA は 0.25 で 6 枚の非球面レンズで構成される。完成は 2004 年末の予定である。カール・ツァイスは一方で、International SEMATECH のスポンサーで、2 枚の非球面ミラーからなるフィールドサイズ 600 × 200 μm²、NA0.3 の投影光学系を持つ MET (Micro Exposure Tool) の投影ミラー加工及び鏡筒開発を行っており、このノウハウが 機に応用されるであろう。

日本では、ASET において EUV 露光装置研究室が発足し半導体製造メーカーやニコンなどの製造装置メーカーが研究を進めている。01 年までのフェイズ 1 で露光システム、多層膜マスク、レジストプロセスといった要素技術を開発した。今後は、ポスト ASET における 02 年からの第 2 フェイズで露光装置の 機を 05 年までの 3 年間で開発し、あわせて光源開発、実用的なマスク開発、レジストプロセス開発を行う計画が進んでいる。

EPL

電子ビーム (EB) 描画技術は 1970 年代に微細パターンの形成を目的として開発され、スループットの向上と精度向上を重ねてきた。90 年代には新しい描画方式がスループットの向上を目指して幾つか提案されている。これらは 2 つに大別でき、一つはよりビーム面積を大きくしようとする投射方式で、もう一つは電子光学系マイクロマルチ方式で

ある。前者は AT&T Bell Labs 社の縮小転写方式 SCALPEL (スキャニング式の電子ビーム露光) と IBM 社の近接転写方式 EBPP がある。後者にはアレー型マイクロコラム描画方式と線状の電子源からの電子をマルチビーム化する方式がある。

EPL の研究は米国の企業がリードしており、論文発表の半分を占める。続いて、日本が多く、米国の 3 分の 1 に相当する。欧州は米国の半分弱であるが、企業、大学、研究機関で同程度の割合で発表されている。90 年代はここに登場した IBM やルーセント、ニコンといったメーカーの特許出願が多い。

エマージングリソグラフィ

半導体露光技術は変革期にあり、産業界に共通する画一的な露光技術をすべてのメーカーが使っていた時代から、半導体メーカーのビジネスモデルや製品に応じて露光技術を使い分ける時代へ変わろうとしている。すなわち、MPU やメモリなどの単一製品を大量に生産するだけでなく、高付加価値の製品の小ロット・短 TAT で生産する SoC ビジネスが登場し、それに応じた生産システムも分化しつつある。しかし、現在の主要な露光メーカーが手がけている露光技術は、前者の単一製品大量生産向けシステムであり、巨額の設備投資を強いられている。半導体産業を巨額の設備投資という呪縛から解放し、新たな可能性を見出すという観点では、エマージングリソグラフィの技術革新を必要としている。すなわち、投資負担が小さくても、微細化が実現できる LEEPL や DPL、第 2 世代 PXL (EUV 露光に比較すると低コスト) さらに、まったく新たな技術としてのナノインプリント、近接場露光などが、その候補技術になる(表 2)。

表 2 主要なエマージングリソグラフィ

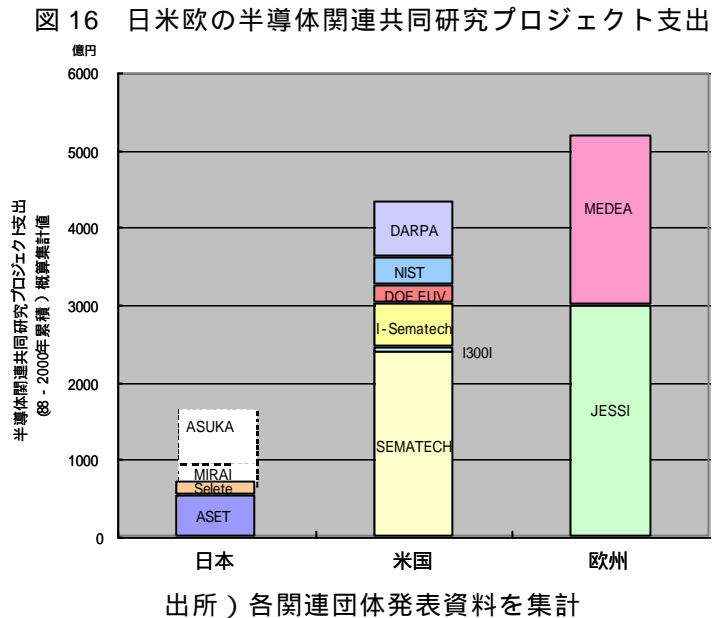
技術分野	内容
LEEPL	特許 (日本特許 2981947 号、米国特許 5831272 号) を有するベンチャ企業 LEEPL が東京精密と立ち上げた技術であり、日本ユーザのソニー・松下・シャープ・NEC・ローム・TI などが LEEPL の露光装置を用いてプロセス開発をおこなっている。この露光装置の強みは、70nm 以下の微細加工に有効であり、同世代の EUV 露光技術に比較すると装置価格が 10 分の 1 にまで安くできる可能性がある。
ナノインプリント	ナノ構造材料の押し付け転写技術であり、ナノ構造の形成工程として、大学レベルで研究が行なわれている。ナノテクノロジーの加工技術として有望視されている。現在の技術課題は、量産化技術であり、その応用プロセス及び元となるパターンの形成が必須となる。
近接場露光	物質の近接場効果を用いてパターンの転写を行なう技術である。主に、大学レベルで研究されているが、一部の企業でも研究開発が行なわれるようになってきている。現時点の評価としては、基礎的レベルの研究を実用レベルにまで上げていく必要がある。
DLP	約 20 年前に米国の TI で DMD(Digital Mirror Device)が発明され、その応用技術として DLP (Digital Light Processing) は開発された。同技術は、非常に小さく形成されたミラーを用いて、マスクレス露光を実現する技術である。
第 2 世代 PXL	SR 放射光源が実用化されて以降の PXL では、フレネル回折およびレジスト中での二次電子による像劣化という 2 つの解像性を律する要因に対する最適な X 線波長として、平均波長 7-9A 程度が選択されてきた。これを見直すことで 35nm クラスまでの露光可能性が見出されてきている。

出所) NRI 作成

5 . 政策動向

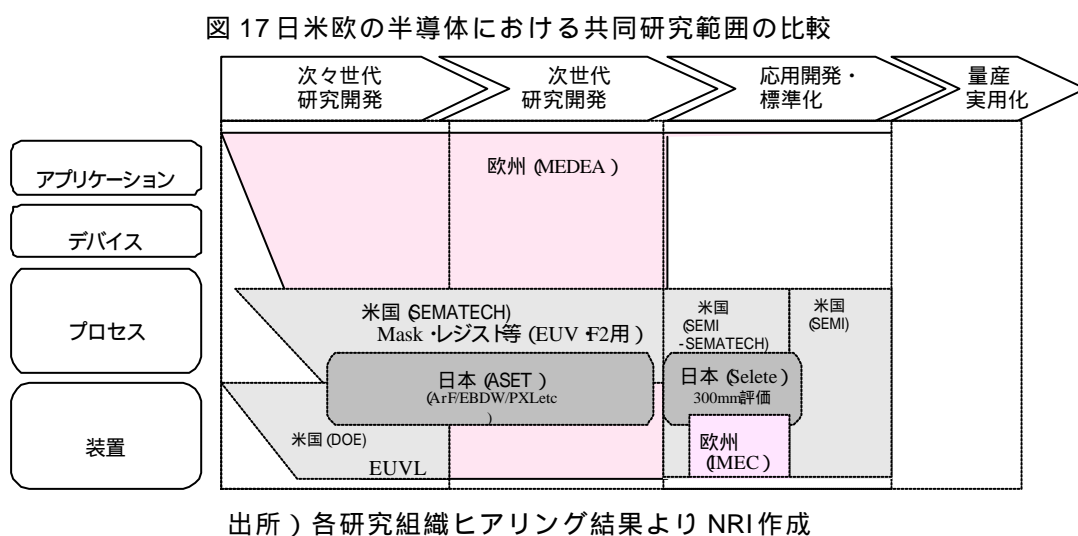
<劣勢にある日本の共同研究開発投資>

半導体に関する共同研究費用を 1988 年から 2000 年の累積で諸外国と比較すると、日本の共同研究開発予算規模は、欧米の 5 分の 1 以下である。これを政府支出額だけで比較しても、日本は非常に少ない(図 16)。



<アプリケーションと連動した欧州、プロセス・装置の特定分野の日本>

半導体分野に関する共同研究のカバレッジを比較すると、半導体のアプリケーションからの一貫プロジェクト指向の欧州に対して、日本・米国はプロセス及び材料装置が主である。



日米の違いは、日本が先端の次々世代・基礎レベル、次世代・装置・材料の競争前研究に注力しているのに対して、米国は、応用研究・標準化に注力している(図 17)。特に、

リスクの高い 70nm のプロセスは国立研究所・大学等を活用し、民間 SEMATECH は実用化前の評価と世界的レベルでのデファクト化に力を入れている。

< 国際標準へと結びつく欧米の共同研究 >

組織運営として、国際協力関係を比較すると、米国は、次々世代及び基礎研究を政府に、次世代を民間で推進するものの、製造装置分野の開発では国際協力路線を打ち出している。欧州の研究主体者である ASML は、米国との組織的協力を図っている。一方、日本は、国内産業の強化を指向するも、国際標準、世界で最初のユーザ獲得、市場でのデファクト化などの点で劣勢にある。

< 露光装置研究は EUV 露光研究に重点 >

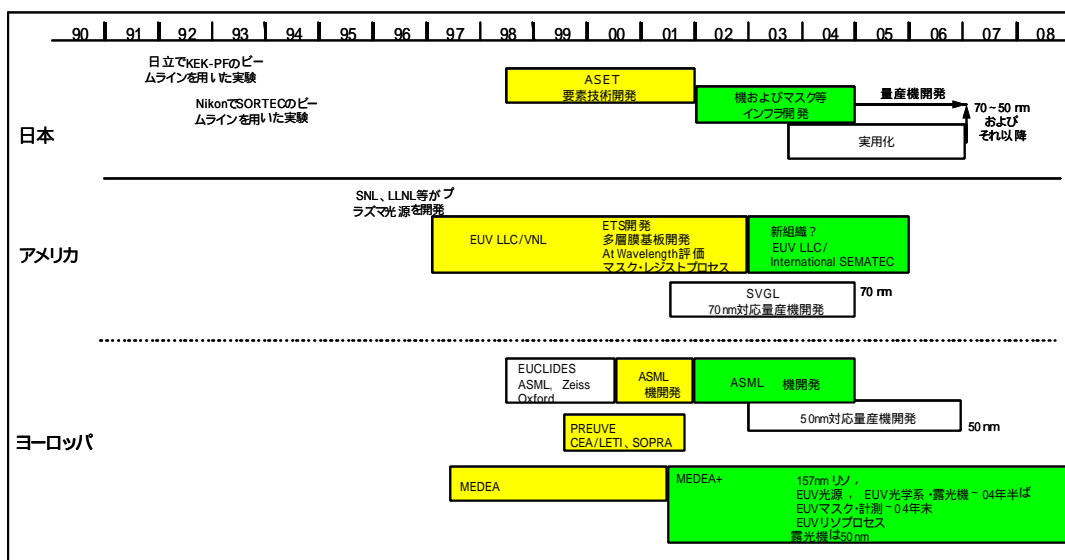
現在、露光装置技術分野における国際的な共同研究の重点は、EUV 露光技術の開発にある。日本では、1990 年代初頭に X 線をベースとする研究が行なわれた後、日本での研究は下火となっていた。米国での研究を受けて 98 年、ASET で EUV 露光装置研究室が発足し、露光システム、多層膜マスク、レジストプロセスといった要素技術の開発を行なっている。

一方、米国では、Sandia 国立研究所(SNL)や Lawrence Livermore 国立研究所(LLNL)、官民の共同研究によりプラズマ光源を 95 年に開発した。97 年、Intel、Motorola、AMD の出資による EUV LLC が設立され、着実に成果を出している。Intel や Motorola はマスクの開発に注力し、試作レベルであるがマスク開発でも成果を出している。

< 今後さらに開発が加速する EUV 露光 >

日本ではポスト ASET における 02 年からの第 2 フェイズで露光装置の 機を 05 年までの 3 年間で開発し、あわせて光源開発、実用的なマスク開発、レジストプロセス開発を行う計画である。米国では 2005 年から 70nm 技術を EUV 露光に適用する計画があり、SVGL がこれを睨んだ装置開発を計画である。ASML では 2007 年に 50nm 技術への適用を目指して、2005 年までに 機を開発する計画を持っている(図 18)。

図 18 日米欧における EUV 露光研究開発計画



出所) ASET 岡崎信次氏発表資料

6. 結論

(1) 半導体露光装置技術における特許戦略の重要性拡大

半導体露光装置技術は、極限的先端技術の集積が必要であり、特許は極めて重要な位置付けを占める。しかし、製造装置という産業の特徴として、受託型であり、顧客とともに装置の開発をおこなっていかねばならないという特徴がある。また、特許の侵害がわかるのは装置が市場にでてからであり、顧客に納品されてからのことが多い。そのため、装置メーカー間での紛争は、顧客にも迷惑をかける可能性があるため、これまで特許権を行使するケースは少なかった。しかし、昨今、露光装置業界でもお互いに特許を行使する動きが盛んになっており、特許に裏付けられた自社技術の優位性を競い合うようになってきている。そのため、これからの露光装置ビジネスにおいては、特許を事業に直接活かした展開が重要になってこよう。

(2) 今後日本がめざすべき技術開発の方向性

次世代技術の確立

半導体露光技術は、g線・i線の紫外線露光から KrF・ArF エキシマレーザ露光へと発展してきた。次世代は、F₂エキシマレーザ、EPL、EUV 露光が有力視されているが、未だ完成された技術はなく、露光装置メーカーもデバイスメーカーも平行に複数の開発を続けている。特許・論文等の発表では、EUV 露光が飛躍的な増加傾向を示しているが、日本の研究開発は遅れているのが実態である。日本の競争力を維持してゆくには、最も有望視されている EUV 露光技術分野での技術的キャッチアップが必要不可欠であるが、EUV 露光の開発には、複数企業の協力が不可欠である。日本がリーダーシップをとりながら、共同のプロジェクト等を介して国際的な協力を行なっていくべきであろう。

さらに、F₂、EPL 技術についても同様に開発を進めてゆく必要がある。F₂エキシマレーザ露光については、雰囲気制御、計測位置制御、光学系技術などの開発が必要である

う。EPLについては、ほぼ要素開発は終了しているが、実用化に向けた開発が急がれる。

エマージングリソグラフィへの挑戦

現在、注目されている技術以外に、半導体の微細加工に利用可能なエマージングリソグラフィがある。半導体露光技術は今後も進歩を続けると期待されている。しかし、その方向は必ずしも固定されたひとつの方向ではなく、数多くの可能性を持っている。今では予想もできない技術が大きな飛躍を実現する可能性は高い。その中で、知的財産権は益々重要な位置付けになる。我が国としては、産学官が共同して主流の技術を開発していくと同時に、エマージングリソグラフィにも目を向け技術開発の強化を図ってゆくべきであろう。

(3) 取り組むべき課題

以下のような対策を加速推進してゆくべきであろう。

特許の戦略的活用を加速

ニコンのASML提訴を契機に、半導体露光装置市場における特許戦略活用が本格化し始める可能性は高い。これまでは、ユーザへの遠慮から十分な特許蓄積があるにも関わらず、半導体露光装置メーカーが競合メーカーを訴えることはなかった。しかし、業界トップのニコンの提訴により業界の習慣は覆され、企業間で権利を競いあう時代が到来するであろう。これにより、技術開発競争がさらに加熱すると予想される。その波及効果は、以下のような変革を持って露光装置業界を活性化すると予想される。

- 露光装置メーカー間の主導権争いに伴う技術開発競争激化

各社横ならびの構図から特徴ある技術への集中と差別化が進展する。その結果、技術革新が加速される。

- ユーザ企業からの技術利用

ユーザ企業の中に眠っていた技術や特許が、製品に反映され、新たな技術革新を実現する可能性も考えられる。

- ベンチャー登場

LEEPLが誕生したように、従来は見過ごされてきたエマージングリソグラフィを柱にベンチャー企業が誕生する可能性は高く、そのための環境整備、埋もれている技術の探索が必要となる。

また、このような技術開発の自由競争を加速し、半導体露光装置技術のさらなる発展を推進するため、国や半導体業界に以下のような支援を期待したい。

産学官共同による先端分野の研究強化

競争が激化する一方で、将来技術の多くが、莫大な研究を必要としており、特定1社だけでは打開できない領域へと入ってきている。そのためには、産学官が密接に協力し、先端分野の研究（F₂露光、EUV露光露光、EPL技術の強化、先端計測技術の強化、マスクの開発強化、計測技術とのソリューション強化）を加速してゆかなければならない。

国際協力体制の推進

半導体露光技術は、世界の競合する半導体メーカーがほぼ同時に使用する技術であり、半導体及び半導体に支えられるエレクトロニクス技術においてはグローバルスタンダードの技術である。欧米の研究開発組織は、非常に密な協力体制を構築し、効率的に開発を指針すると同時に、産業界への有効な活用を押し進めてきた。日本も国際連携を進めているが、欧米の活動状況に比較すると決して十分とはいえない。日本は強みとする半導体露光技術の競争力を維持していくためにも、広く国際的協力を推進し、競争力の維持・強化を図ることで、国際貢献を果たすべきであろう。

【お問い合わせ先】

〒100-8915 東京都千代田区霞ヶ関
3-4-3
特許庁 総務部 技術調査課 技術動向班
TEL：03-3581-1101（内線 2155）
FAX：03-3580-5741