

特集 2

半導体微細加工装置技術の最新動向
— 開発研究における日本の産学連携への提言 —

情報・通信ユニット 立野 公男

1. 緒言

今年に入りデジタル家電の盛況に引かれて日本の電気メーカーの半導体や液晶製品への設備投資意欲が顕在化しており、IT バブル崩壊後の'99～'00の底を経て盛り返し段階に入っている。実際、半導体電子製品の売上高順位もルネサステクノロジー（日立・三菱統合会社）が、米国のインテル社、韓国のサムスン電子社について、名目的にはあれ3位に浮上した。これらのメーカーの重要な設備投資の対象は、マスク上に描かれたLSI（大規模集積回路）のパターンを半導体ウエハ上に焼き付けるための微細加工装置であり、これは半導体や液晶デバイスの最先端製品のスペックを決定する技術

ネックを掌握する戦略的製品である。このため、半導体微細加工装置の市場シェア獲得のグローバルな競争が展開されており、今後この製品分野で日本が技術と市場シェアの両方で優位を保ち続けることは、半導体産業や技術のイニシヤティブをとる戦略上極めて重要である。

そもそも、光学技術応用の製品分野、すなわち、光ディスク、光ファイバ通信部品、カメラ、顕微鏡、内視鏡、レーザープリンタなどでは、日本の企業が技術、ビジネスいずれの面でも圧倒的優位に立って世界をリードしてきた。この事情は本報告で取り上げる光学技術を駆使した半導体の微細加工装

置、すなわち、光露光装置において最たるものであり、最も深く、かつ先端的な光学技術を必要とする製品である。しかし、半導体の露光装置については一時、欧州のメーカーにトップシェアを奪われた経緯もあり¹⁾ 今後の動向に楽観は許されない。

本報告では、益々競争の激化する半導体微細加工装置産業において、今後も日本の企業がお家芸である露光装置開発での国際競争力を発揮し続けるための手段の一つとしての産学連携が重要であることを示し、これが日本で本格的に実を上げて行くためにどのような方策がとられるべきかを検討する。

2. 半導体デバイス・ロードマップとリソグラフィ・ソリューション

2-1

半導体デバイス・ロードマップ

最近の半導体LSI分野では、情報通信機器の根幹をなすパソコンのコア部品であるMPU（Micro Processor Unit）やメモリ部品であるDRAM（Dynamic Random Access Memory）、あるいは、モバイル機器やデジタル家電用のSoC（System on Chip）について相変わらず盛んな開発競争が続いている。これらの半導体LSIは、集積度の向上を目標として進化

して来た。すなわち、DRAMの場合のハーフピッチ、あるいは、MPUの場合のゲート長と呼ばれる微細パターンの加工精度のあくなき追求である。

図表1は、集積度向上の基本トレンドを示すロードマップ²⁾である。このロードマップは、米国のインテル社をはじめとする世界の主だった電気メーカーが参加して取り決めており、ITRS（International Technology Roadmap for Semiconductor）と呼ばれている。最小線幅は、当初、ミクロンオーダーであったが時代を追って微細化

の一途をたどり、DRAMについては、現在90nmノード（節目）での量産体制に向かおうとしている。この線幅に対応するDRAMのメモリ容量は4ギガビットである。そして、15年後には、線幅18nm、メモリ容量128ギガビットという驚異的な目標が立てられている。

2-2

リソグラフィ・ソリューション

このようなITRSロードマップにおけるLSIの微細パターンは、

リソグラフィ技術を駆使した微細加工装置によって作成され、各ノードにおけるリソグラフィ・ソリューションと呼ばれている^{3~5)}。これらの装置は、紫外線や電子線を光源としており、図表2に示すように大きく分けて2種類ある。以下これらについて概要を述べる。

第一は、紫外線を発するArF(アルゴンフロライド)やF₂(フッ素ガス)レーザを光源とした光学的方法であり、いわゆるステッパー、あるいは、最近ではスキャナーと呼ばれている。この方式は、図表3に示すように、光の空間的な並列処理機能、すなわち、マスクパターン上のすべての点を同時にウエハ上に焼き付けるという極めて有益なメリットをもっている。そのためスループットが高く量産が可能で最も実績があり普及している。光源の波長が世代を追って短くなる理由は、次式で与えられる露光装置のレンズ光学系の解像度、いわゆるアッペの式(レーレーの式とも呼ばれる)によって線幅が決まるからである。

線幅： $\delta = k \cdot \lambda / NA$
 (λ：波長、NA：レンズ開口数、k：Engineering factor) ……①

図表1 半導体デバイスロードマップ(単位はnm)

デバイス/年度	2004	2007	2010	2012	2015	2018
DRAM	4Gb	8Gb	16Gb	32Gb	64Gb	128Gb
ハーフピッチ	90	65	45	32	22	18
コンタクトホール	110	80	55	45	35	25
合わせ精度	32	23	18	14	10	7.2
線幅バラツキ(3σ)	11	8	5.5	4.3	3.1	2.2
MPU						
ハーフピッチ	107	76	54	42	30	21
ゲート長	53	35	25	20	15	10
コンタクトホール	122	80	59	46	33	23
線幅バラツキ(3σ)	3.3	2.2	1.6	1.3	0.9	0.6
SoC						
ASIC/LPゲート	75	45	32	27	19	13
コンタクトホール	122	80	59	46	33	23
線幅バラツキ(3σ)	4.7	2.9	2	1.7	1.3	0.8

ITRS ホーム・ページの表をもとに政策研で作成

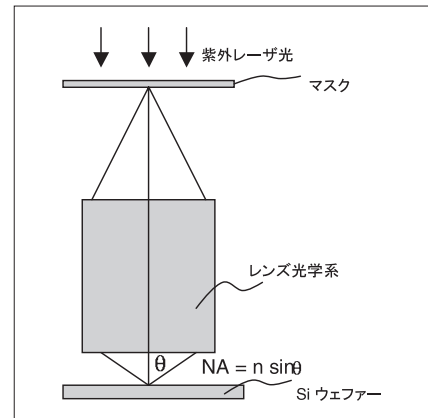
ここに、NAは、Numerical Aperture(開口数)の略であり、ウエハから見たレンズ開口の見込み角の半分をθ(図表3)とした時、 $NA = n \cdot \sin \theta$ で与えられる。ここで、本年2月米国のシリコンバレー(Santa Clara)で開催されたMicrolithography2004⁶⁾に於いて本命技術としての位置づけが確認され、ブレイクスルーとなった液浸技術を説明する。この技術は、既に量産に使用されている上記ArFレーザを光源とする

露光装置の延命をはかる技術であり、対物レンズの先端とウエハの間の空間を純水で浸し、実効的なNAを純水の屈折率1.4分だけ向上する技術である。式①を見れば解像度が上がることは一目瞭然である。また、焦点深度も向上するため、装置の機械的な位置制御の精度が緩和されることも大きなメリットである。液浸レンズはオイルを用いた超高解像の顕微鏡として古くから知られているが、量産用露光装置への適用は初めてで

図表2 リソグラフィ・ソリューション

年度	2004	2007	2010	2012	2015	2018	
ITRS Node	130nm	90nm	65nm	45nm	32nm	22nm	18nm
光学式	KrF(248nm)	ArF(193nm)	液浸ArF + RET	F ₂ (157nm)	液浸F ₂ + RET	EUV(極紫外13.5nm)	
電子線方式			EPL(電子線投影露光装置)				
			LEEPL				

図表3 光学式露光装置の模式図



あり、解像度 60nm が部分実験で実証され、マスクパターンが単純な繰返し形状であれば 45nm から 32nm まで加工できる可能性を持っている。

第二が、さらに波長の短い電子線をビーム源とする露光装置である。その代表的な装置が、EPL (Electron Projection Lithography) である。これは、電子ビーム (波長 0.1nm 以下) をマスクパターンに当て、ウエハ上にマスクパターンの像を縮小投影して露光する技術である。この装置は同時に露光できる面積が狭いため、光学式に比べてスループットが不利であり、いわゆる量産機として採用された実績はない。しかし、解像度、焦点深度いずれも光学式よりも有利なため、光学式では加工が困難なコンタクトホールなどの孤立パターンの露光用として併用される可能性を持っている。また、特殊仕様向けの LSI の微細加工に向かうという見方もある。

一方、マスクをウエハに近接し、電子ビームでそのまま転写する LEEPL (Low-energy electron-beam proximity-projection lithography) も提案されている。現在 65nm の解像度が実験的に確認されており、45nm へ向けての開発が行われている。EPL に比べて装置が比較的安価でありスループットも高い点有利であるが、マスクが等倍であるためマスク自体の生産が高価となるなど課題も多い。

以上、電子線を用いた露光装置は光学式が限界に達した場合に取ってかわるべき装置として従来から開発されてきた。しかし量産に必要なスループットが光学式ほど向上していないため、現在は主としてリソグラフィの研究用や原版となるマスクの微細加工装置としての役割を担っている。

2 - 3

次々世代： EUV / F₂ リソグラフィー

これまで述べてきたように液浸ブレイクスルーにより、ITRS 上で 45nm ノードは确实、ひいては、32nm ノードまでの見通しがついたが、その先はどうなるのであろうか？ この問いに答えようとしているのが、次々世代リソグラフィと言うべき EUV (Extreme Ultra Violet) 露光技術と F₂ リソグラフィ技術である。

EUV 技術は、元 NTT に在籍し現在は兵庫県立大学に所属する木下教授の発案であり、日本発の誇るべき技術の 1 つである。これは、例えば高真空中でノズルから噴出する水に超高出力レーザー光を照射して生じる高温プラズマから発生する、波長 13.5nm の極紫外光を用いたリソグラフィ技術である。この分野でも、日欧米の競争は激化している。特に、EUV 光を透過するガラス材料がないため、反射ミラーが使用される。そのため、従来の光露光装置とは、技術的な連続性が相当部分失われることになる。したがって予算的にも EUV 露光装置の開発には、基盤技術、計測技術、および、実用化技術を含めて開発費 430 億円が必要と推定されている。この額は ArF リソグラフィの 150 億円、F₂ リソグラフィの 200 億円を大きく上回り、1 社負担は無理である。

従って、このような EUV 技術は、欧米では、欧州の MEDEA +⁷⁾ (Microelectronics Development for European Applications +)、米国の EUV LLC⁸⁾ (Limited Liability Company)、VNL (Virtual National Lab./ Lawrence Berkeley, Lawrence Livermore, Sandia)、および、ISM T⁹⁾ (International SEMsATEC) にお

いて、豊富な資金をバックに産学官連携で推進されている。この背景から日本では経済産業省の担当で、NEDO の支援を受けて 2002 年 6 月～2005 年 3 月の期間で「技術研究組合 極紫外線露光システム応用技術開発機構；EUV (Extreme Ultra Violet lithography Association)¹⁰⁾」が産学官連携コンソーシアムとして走っており、国際競争の中で装置コスト削減を含む将来技術の開発が進められている。これらの背景から、2003 年秋にインテル社は、32nm 以降のリソグラフィは EUV 露光に集中し F₂ リソグラフィはスキップすると宣言した。しかし、EUV 露光は、実績の乏しいミラー光学系や EUV 光源の新開発が必要であり、膨大なコストも含めて多くの難題をかかえている。

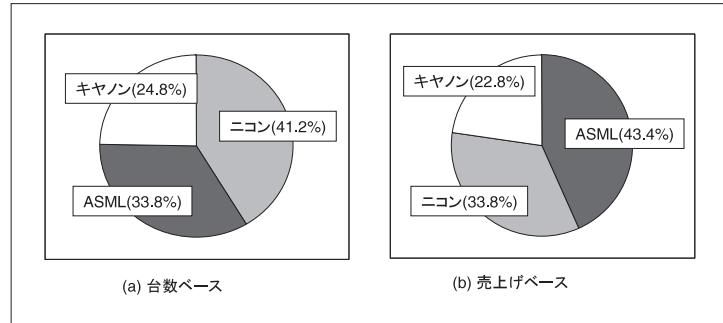
一方、F₂ リソグラフィ装置は、レンズ材料として CaF₂ (カルシウムフッライド) の大型結晶育成の量産化技術などいくつかの課題を残している。しかし、露光方式としては豊富な実績を持つ光学式の延長にあるため EUV よりも有利に展開される可能性もある。現に、2003 年 4 月 ASML 社は、欧州の IMEC¹¹⁾ (InterUniversities MicroElectronic Center) に価格が 120 億円以上の F₂ 露光装置の試験機を納入しており、量産化のための技術課題の先取りを行っている。ASML 社の光学系は、世界の光学技術の老舗であるツァイス社 (Zeiss / 独) が受け持っている。これらに対し、日本の F₂ リソグラフィ技術は、Selete¹²⁾ の「あすかプロジェクト」の中で 2006 年 3 月末完了を目指して進められている。その先の戦略として F₂ で行くか、EUV で行くかの選択には、技術だけでなく開発期間と膨大な投資額などが複雑にからむため、相当高度な判断力が要求される状況である。

3. 世界市場シェアと日本企業の国際競争力の現状

半導体デバイス製品そのものの世界市場シェアでは、日本企業がトップの座を奪われて10年になるろうとしている。しかし、今年に入りデジタル家電やモバイル機器の盛況や企業再編の効果もあって、ルネサステクノロジー（日立・三菱統合会社）の売上高順位が、米国のインテル社、韓国のサムスン電子社について名目的にはあれ3位に浮上した。これに伴い、日本の電気メカの半導体や液晶製品への設備投資意欲が顕在化しており、日本のメカにとって半導体微細加工装置の国際競争力を盛り返すチャンスが訪れようとしている。そこで、本報告の主題である半導体微細加工装置の世界シェアと日本企業の国際競争力を調べる。

図表4は、最近の半導体露光装置の世界シェアである。市場は、世界に冠たる日本の光学メーカーであるニコン、キヤノン、そして、光学技術の伝統を持つツァイス社の光学系を搭載したASML社（Philips系列／オランダ）の三社に寡占化されている。図表4中(a)は台数ベース、(b)は売り上げベ

図表4 2003年度の光露光装置世界シェア



(株)プレスジャーナル社のデータをもとに政策研で作成

スである。台数ではニコンがトップである。ところが、売り上げでは、ASML社がトップである。これまで、半導体製造装置の分野では、日本のメカは、技術・ビジネス両面で世界を圧倒的にリードして来た。しかし、ビジネス面では最近顧客サービスを重視し、使い勝手を改善した製品を市場へ投入した欧州のASML社に追い越される局面もあり苦慮している。値段が高いのに顧客はASML社製を選ぶのである¹⁾。日本企業が今後も国際競争力を保持し向上して行く上で、使い勝手やメンテナンスを重視した「顧客サービス」の一層の改善が期待される。

一方、アメリカにおいては、従来、コダック社やパーキン・エルマー社のような光学メーカーがカメラや計測機器をはじめとする光学機器の分野で健闘していたが、現在は競争力を失っている。光露光装置においても一時、SVGL社が活躍していたが、数年前にASML社に買収された。このように、アメリカのリソグラフィ装置産業には活力がなくなっている。にもかかわらず、後述の液浸技術ブレークスルーに見られるようにアメリカの大学の研究開発力の方は相変わらず活力に溢れており、現場の最先端の技術課題に敏感に反応している。なぜこうなるのであろうか？

4. 日本企業の技術優位性と米国の大学の活躍

以上で、半導体微細加工のロードマップと対応するリソグラフィ・ソリューションを技術的に解説し、半導体のデバイスと微細加工装置の世界シェアをレビューした。次に、このような状況の中で本報告の中で特に吟味されるべき2つの象徴的な事例を取り上げ、半導体産業における日本の国際競争力についての分析を試みる。その1つは、特に日本の企業がこれまで光学メーカーと電機メーカーの産々連携によって基礎的な段階か

ら実用まで強みを発揮してきた超解像技術であり、もう1つは数年前から液浸技術ブレークスルーのきっかけをつくったアメリカの大学の活躍ぶりである。

4-1

超解像技術における日本企業の産々連携

第2章の式①によれば、光源の波長とレンズの開口数が同じであっても、k-factorを小さくする

ことにより、半導体の微細加工の最小線幅をより細くすることができる。これに対応する技術がRET（Resolution Enhancement Technology）であり、その代表的なものが、図表5に示した位相シフト法である。これは、マスクパターンの隣同士の位相を180度シフトさせ、電場の強度分布を二分することでリソグラフィの解像度を約2倍向上する技術である。この基本アイデアは1980年に当時ニコンに在籍し、現在は東京工芸

大学に所属する渋谷真人教授が発明し、ニコンから特許申請¹³⁾された。その後、IBM社においてM. D. Levenson氏が独立にその効果を実験的に証明し、さらに、日立製作所の岡崎信次博士らのグループが実用化への道を開いた。

図表6は縦軸に位相シフトマスクに関連する特許の数を示しており、日本の企業がこの技術分野で圧倒的にリードした事実を読み取ることができる。この事実は、リソグラフィ技術分野の権威の一人であるMentor GraphicsのFrank Schellenberg氏が、前述の国際会議、Microlithography2004にて、“Resolution Enhancement Technology: The Past, the Present, and Extensions”¹⁴⁾と題する基調講演でレビューしたものである。位相シフト法は、繰り返しパターンへの適用に限られ、コンタクトホールなどの孤立パターンへの適用は困難であるが、光源の波長は問わないので、KrF、ArF、F₂いずれの露光装置にも適用できる汎用技術である。

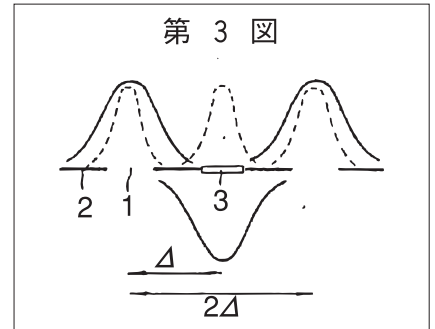
すなわち、リソグラフィの1つのブレークスルーとなった超解像技術は、日本の企業が世界に先立って生みだし、アメリカの企

業が育て、日本の企業が実用化して世界を圧倒的にリードしてきた事例であるといえる。つまり、日本の企業の技術がこれまで単に量産技術や歩留まり向上に寄与していただけではなく、かなり基礎的な技術課題の解決策をも生み出していたことを我々は認知すべきである。因みに、この国際会議Microlithography2004において、今回から、位相差顕微鏡でノーベル賞を受賞したオランダのZernike（ゼルニケ）の名を冠したAwardが新設された。今回は、次節で述べる液浸技術を推進したB. J. Lin氏が受賞したが、今後、RET技術に関する実績が受賞の対象となる可能性が高い。

4 - 2 液浸ブレークスルーとMITの技術センス

以上のように、超解像技術を端的な例として、光リソグラフィ技術においては、全般的に日本の技術陣がリーダーシップを取り続けてきた。しかし、第2章で述べたように次世代リソグラフィ・ソリューションについては技術選択肢^{3~5)}が多く、本命技術がこれらのうち

図表5 位相シフト法の原理



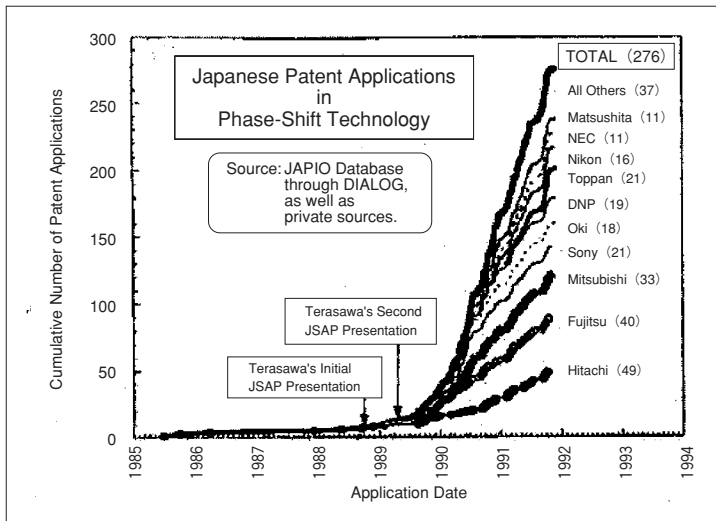
マスクパターンの隣同士の位相を180度シフトし、解像度を約2倍向上

どれになるか混沌としていた。そして、露光装置の開発メーカは、国の内外を問わず本命技術を絞りきれず開発投資額が膨大なものとなり今後回収できるかどうか危惧されていた。

このような状況下で、本年2月に米国のシリコンバレー（Santa Clara）で開催されたMicrolithography2004⁶⁾に於いて65nm以降のブレークスルー技術としてArFの液浸技術の実用化に関しニコン、ASML社、および、キヤノンから競って発表され各社とも本命技術としての見通しが立ったと述べた。そして、年内、あるいは、来年ははじめの製品化に向けて技術開発競争はもとより、トップシェア争奪の受注競争が始まっている。このため、リソースの選択と集中、すなわち、他のリソグラフィ技術の選択肢に携わっていた技術者の液浸式ArFステップ装置開発へのシフトが行われている。

そこで、この注目すべきブレークスルー技術が本命技術として表舞台に立つに至った経緯を調べる。この液浸技術は、前述のArFの解像度の式①で明らかかなように光学顕微鏡の解像度を上げる技術として教科書に掲載されているほど良く知られた技術である。実際、今回発表のような液体循環式リソグラフィとしての発明は、遡れば80年代のはじめに出

図表6 RET（Resolution Enhancement Technology）技術の筆頭にあげられる位相シフトマスク関連特許数の推移



F. Schellenberg氏のMicrolithography2004における発表資料より

願された日立製作所の高梨明紘氏らの特許¹⁵⁾がある。しかし、技術の選択肢として前述の位相シフトマスクなどのRET (Resolution Enhancement Technology) 技術開発の方が優先度が高かった。そのため液浸技術は長らくお蔵入りであった。しかし、最近では、そのRET技術も出尽くしている感があった。

このような背景で2001年、MITのLincoln LaboratoryのM. Rothschild氏らが、波長157nmのF₂レーザを用いた液浸リソグ

ラフィ実験をタイミング良く発表¹⁶⁾した。その後、IBM社から台湾のメーカTSMC社に移ったB. J. Lin氏らが理論的検討を進めて45nmノードまで実用可能であるという見通しを立て、実用化を強く主張した。そして、ニコンの大和壮一博士らが2003年のMicrolithography学会にて液浸のハンドリング技術であるローカルフィルというアイデアを発表し量産機への適用が可能であることを示した。これにはずみがついて、ASML社やキヤノンも液浸のシ

ミュレーションや実用実験をさらに押し進め、年内、あるいは、来年早々の出荷を目指して3社による熾烈な製品化競争が展開されるに至った。以上の経緯を見ると、MITの技術陣が当初どこまで先行きを見通していたかは不明であるが、少なくとも光リソグラフィの現場の最先端の技術課題に敏感に反応し、今回の液浸技術ブレークスルーのきっかけを作ったことは確かである。

5. 日本の産学連携の問題点と今後の進め方

5 - 1

日本の産学連携の問題点

今回のリソグラフィ・ソリューションのブレークスルーとなった液浸技術は、前述のようにMIT (Massachusetts Institute of Technology)、Lincoln LaboratoryのProf. Rothschildらによってきっかけが作られた。この研究室は、DARPAのファンド (No. F19628-00-C-0002) を受けて光リソグラフィの極限追求をテーマとしており、以前からF₂ (157nm) レーザを用いた露光実験などを通じて技術開発の最前線の一環を担っていた。すなわち、企業の現場が行っている実験と同じレベルの実験をしており、最先端の技術課題を掌握していた。従って、今回のブレークスルーのきっかけを作ったのは必然であったということもできる。この例にみられるようにアメリカの大学は、日本の大学¹⁷⁾よりも企業の現場の最先端の技術課題に敏感に反応する。だからこそ大学からブレークスルーが出るし、ビジネスに根ざした本格的なベンチャーが育つ確率が高い。

本論文は、今回のMITの例で

みられるような大学の生産技術部門が担っている応用研究の進め方について議論しており、例えば素粒子研究のような純粋な研究部門のことを対象にしているわけではない。ところが、日本の大学では、応用研究部門の領域であっても、将来への布石としての基礎研究と称されるテーマが多く、それが大義名分のようになっている。そしてさらに、基礎研究といっても実体はどちらかというと技術の本流からはずれたところで研究テーマを設定してしまう傾向がある。論文数を稼ぐ目的に沿うかもしれないが、論文発表だけで終わってしまうケースが多くみられる。たとえば、今回のMicrolithography2004⁶⁾のような、技術の本流を議論する場において、アメリカの大学からの発表件数が25件であったのに対し、日本の大学からの発表は数件であった。しかも、今回のMicrolithography2004⁶⁾でのMITやRochester大学の例に見られるように、アメリカの大学から発表されるデータの取り方やシミュレーションの結果が、企業から発表されるものに肉薄しており、技術の本流への寄与に迫力が感じられ

た。これに比べ日本の大学からの発表は、アイデアを概念や図面で発表するにとどまり、データも写真程度である場合が多く見受けられる。筆者がかつて携わった光ディスク分野の学会発表でも、写真だけでなく例えば信号対雑音比や効率のデータにまで踏み込んだ形であれば、その技術の素性がもっと明確になるのという隔靴搔痒の思いを何度か経験したことがある。

このように日本の大学が技術の本流に踏み込みにくくしている理由は何であろうか？ 1つには、大学によっては研究設備が不足しているという要因がある。例えば、上述の信号対雑音比や効率のデータをとるには、それなりの高価な測定機器が必要であり、大学によっては、それらの機器を備え切れないという場合もある。しかし、本論文で強調したいのは、例えば先端的なデバイス設計の方法や測定方法のノウハウなどを含んだ技術の本流にある最先端の技術情報を大学がつかみ切れていないのではないかという問題である。これは、大学が企業の現場から学ぶのが最も手取り早いので、企業サイドから開示されると都合がよい。

ところが、そこには、企業機密の問題が立ち上がる。機密保持は企業サイドとしては当然のことである。しかし、企業の自前主義の限界が盛んに問われている昨今にあって、企業側も機密保持や技術情報の囲い込みに専念していると技術が閉塞してしまう。そのためには、企業が情報を大学に開示してもその権利が保証され、企業が安心して大学と技術交流ができるような体制が土台にならなければならない。

すなわち、法律に基づいたきちんとした機密保持に関する対等の契約（NDA：Nondisclosure Agreement、あるいは、EA；Exclusive Agreement）を大学と企業の間で交わし、互いの技術交流を経て双方が Win - Win の成果が得られるような姿に変革して行くべきである。ところが例えば、大学での研究には学生が携わるため、卒業後の就職先に機密が漏れる懸念があるという指摘がある。しかし、それは、学生も含めた NDA を結べば解決する問題と思える。

以上の議論から、日本の大学の応用研究部門における産学連携の進め方の課題はファンディングの問題以外に、少なくとも2つの視点から検討させなければならないことが分かる。1つは、大学の TLO などが担当する発明の特許化技術に関する課題であり、もう1つが発明そのものを生み出す研究開発の進め方に関する課題である。以下これらについてそれぞれ論考する。

5 - 2

日本の大学の TLO と MIT の ILP の現状

先ずはじめに上げた産学連携にまつわる特許などの機密保護の業務は、我が国の大学では

TLO¹⁸⁾ (Technology Licensing Organization / 技術移転機関) が受け皿になることになっている。TLO の主なミッションは大学の研究成果の特許化し企業に技術移転すると共に、得られた対価を大学の更なる研究資金に充てる事を目標としており、大学の研究者の研究成果を発掘・評価し、特許化及び企業への技術移転を行う法人で、いわば大学の「特許部」の役割を果たす機関である。時期的には、今からおよそ6年前の1998年8月に施行された「大学等技術移転法 (TLO 法)」に基づいて発足し、現時点で全国で36カ所が認可設立されている。

これに対し、アメリカの産学連携の歴史は古く、例えば MIT¹⁹⁾ では TLO だけでなく、ILP²⁰⁾ (Industrial Liaison Program) と呼ばれる組織が1948年に発足している。知財保護業務を扱う TLO に対し、ILP は、技術的な懸案事項を扱う機関であり、50年以上の蓄積があって Innovation Value Chain の一環をなしている。Innovation Value Chain とは、技術イノベーションから資金回収に至る価値創出の連鎖、つまり、基礎研究 - 応用研究 - 製品化 - ビジネス - 研究投資のサイクルの生産的な連鎖である。昨年の例では、645社が MIT に出資し、うち21社が100万ドル以上、139社が10万ドルから100万ドルの間の出資を行っている。また、MIT の卒業生は、1997年までに4,000社を越える会社を創立し110万人の雇用を創出しておよそ2兆5千億円の売り上げを達成している²⁰⁾。そして、MIT などを含む北米全体の産学連携による2002年度の特許収入は、約1,453億円に達する²¹⁾。

一方、日本の TLO の特許収入は増加傾向にあるものの発足から2003年度までで、通算約14億円²²⁾ である。もちろん、TLO の

本格始動が比較的最近であることを考慮すべきであるが、その経営は特許収入という観点から見て多くの課題を将来に残している。そこで特許の収入を基礎研究から求めようとする考え方がある。しかし、実際のところ基礎研究が製品にまで育つケースは極めてまれである。また仮に基礎研究が実用化されても研究開発は通常20～30年の年月を要し、基本特許を書いても製品が市場に出るころには期限が切れている場合が多い。

したがって、大学から出願される特許は、基本発明だけでなく実用化の工程において持続的かつ網羅的に周辺特許を出願し特許網を構築して行かねばならない。このような進め方は、特許収入で実績を踏まえた経験のある企業との産学連携による協力体制がなければ現実とはなり難い。また、特許の権利維持のためには相当の費用がかかる。そのため、既に出願済みの特許の権利を維持するかどうかのスクリーニングの工程をさらに厳しくして行かねばならない。これらは、発明の権利化の効率を高めるための特許技術の問題である。次にもっと肝心な発明自体を生み出すもとなる研究開発そのものの進め方について、前節で強調した日本の産学連携の問題点を受けて次のような前向きな解決策の1つを提案する。

5 - 3

日本の産学連携をより有効に進めるには

その解決策は、先ず第一に、前述のように日本の大学の少なくとも生産技術部門に属する研究者が、従来以上に深く企業の開発現場に足を踏み入れて、先端の技術課題を企業の技術者と共有して行くことである。そこで必ず浮上する知財の管理と保護の問題は、大

学や公的研究機関で設置されている前述の TLO を有効活用することである。しかし、現状の TLO は大学サイドの権利を守ることを主な使命としている。これではさらに有効な進展は望めない。

従って、解決策の第二は、TLO の使命として大学の利益を保護するだけでなく、企業サイドの権利を守る手立ても考慮し、大学と企業が相互に対等な法的契約関係を構築して行くことである。でなければ、企業サイドは現状より以上、大学に接近することはなく、さらに進んだ生産的な産学連携は成立しない。そして第三に、企業サイドも、現場の技術課題を宝の持ち腐れとせず、企業の知財管理部と大学の TLO の監視のもとで大学に積極的に技術課題を開示し、大学の研究者の優秀な頭脳を活用することである。

これら3つの手だてが解決策のセットとして推進されれば、双方がその技術情報を互いに開示してもその権利が保証されることになり、安心して技術交流ができるようになる。つまり、学会や研究会でのレベル以上に踏み込んだ議論を双方の研究者、技術者が行えるようになり、双方の科学的な知識や技術がより活性化され新たな進歩が生まれるチャンスが増えるはずである。

そして、もっとも高度な判断を必要とする事業的な成功の見通しについては、双方の経営者レベルの責任者が会議をもって総合的に

判断する。すなわち、重要なテーマ毎に大学と企業が対等な法的契約関係をベースとするギブアンドテークのルールにまず合意する。そしてそのルールの元に双方の先端技術や製品開発の経験者が集まってプロジェクト体制を敷き、実用化目標の達成に向けた工程を果敢に実行して行くことが開発研究における世界に通用する本格的な産学連携の姿となるのではないか。このような進め方は、実は、企業同士の産々連携で現実に頻繁に行われ、多くの実績が上げられていることである。

5 - 4

国際的な Innovation Value Chain への参加

最後に欧米における産学連携の研究資金面について言及する。すなわち、本報告の半導体微細加工技術の分野では、アメリカでは、ISTM⁹⁾ (International SEMATEC) というコンソーシアムが重要な役割を果たしている。ISMT は MIT をはじめ、Rochester 大、New Mexico 大など多くの米国の大学に日本とはケタ違いに大きい研究資金を投入している。また、2002年の春から2003年の末までの研究成果が本年2004年の1月末に ISMT 主催の会議で報告されているなど活発な成果発表とその評価が定期的になされている。一方、欧州では、ベルギーのルーヴェン市に前述の

IMEC¹¹⁾ という機構が整備されており、半導体産業の産学連携の拠点の1つとなっている。

日本においても、これらの動向に注意しながらより生産的で健全な産学連携を推進すべきである。すなわち、前節で述べたような欧米では当然の事として行われている法的な契約関係、すなわち、一方が他方を支配するのではなく、ギブアンドテークの対等の立場をとることを基本にした契約的な運営方法を国内の企業と大学の間で実績として積むことである。これが地についてくれば、今度は、海外の大学、あるいは、海外の企業との間でのギブアンドテークを基本とする技術協力に発展し、日本の大学も各国の技術力がからみあう国際規模の Innovation Value Chain の一環を担うところまで成長できるのではないか。例えば、端的に言ってインテル社が研究資金を投入する気になるような魅力的な技術ポテンシャルを日本の大学の生産技術的な分野を担う部門で育まれることも視野に入ってくる。

そして、具体的には、本報告で取り上げた光リソグラフィの分野において次世代の技術イノベーションを生むと期待される前述の EUVA という場や F₂ リソグラフィ技術の開発に関係している企業と大学や公的研究機関が、以上の課題をどのようにクリアするかが今後の注目点となる。

6. 結 言

以上、本報告の前半の第2、3章において最近の半導体デバイス製品、および、半導体微細加工装置の技術動向と世界シェアによる日本の国際競争力を本報告の背景としてレビューした。そして、後半の第4、5章では、前半で述べ

た技術動向から日本の産々連携とアメリカの産学連携の進め方についての分析を試みて、本報告の問題意識を浮き彫りにした。そして、最後に、開発研究における日本の産学連携の進め方について、従来よりも一歩踏み込んだ提言を行っ

た。すなわち、

- ①最近のリソグラフィ・ソリューションの新たなブレイクスルーとなった液浸技術を例に見ると、アメリカではビジネスとしてのリソグラフィ装置産業の

国際競争力がなくなっているにもかかわらず、ブレークスルーのきっかけが、アメリカの大学(MIT)で生じている。それが可能であった理由は、アメリカの大学が、国内だけでなく世界中の企業の開発現場がつくっている技術潮流の中に最先端の技術課題を見つけ出し、かつその課題にタイミング良く敏感に反応しているからである。

②すなわち、世界中の企業の開発現場は、マーケットニーズと科学的な知識シーズの接点であり、発明や発見を生み出すもとなる最先端の技術課題を内包しながら技術の潮流を作っている。したがって応用研究に携わる日本の大学の研究者は、そこへ従来以上に深く足を踏み入れて、先端の技術課題を企業と共有して行くべきである。

そこで必ず知財の管理と保護の問題が浮上するが、現在大学や公的研究機関で設置されているTLOが、これまでのように、大学サイドの権利を守るためだけでなく、企業サイドの権利を守る手立ても考慮した相互に対等な法的契約関係を構築して行く必要がある。でなければ、企業サイドは現状より以上に大学に接近することはなく、技術情報を開示することもない。これでは真に生産的な産学連携は進まない。さらに企業サイドは、現場の技術課題を宝の持ち腐れとせず、企業の知財管理部とTLOの監視のもとで大学に積極的に開示し、大学の研究者の優秀な頭脳を活用すべきである。

そして、現状のTLOがかかえている発明の権利化の効率を高めるための特許技術も考慮されなければならない。すなわち、産学連携に携わる大学の研究者は、ヒットすれば大きいはその確率は極めて低い基本特許を狙

うだけでなく、実用化の推進過程で生み出される周辺特許も企業の研究者と協力して持続的かつ網羅的に出願し、特許網を構築して行かねばならない。また、特許の権利維持には費用がかかるため、既出願特許のスクリーニングの工程を企業の特許業務経験者と協力してさらに厳密にして行かねばならない。

③以上のような特許技術を含む対等な法的契約関係をベースとする企業と大学のギブアンドテークのルールの合意の元に、双方の先端技術開発や製品開発の経験者が集まってテーマ毎にプロジェクト体制を敷き、実用化と特許取得目標の達成に向けた工程を果敢に実行して行くことが、開発研究において国際的に通用する本格的な産学連携の姿である。このような進め方は、実は、企業同士の産学連携で現実に頻繁に行われ、多くの実績が積み重ねられている。

今後、日本の大学が参加している次々世代のリソグラフィ・コンソーシアムであるEUVAや、F₂リソグラフィ技術の進展が以上の提言からの注目点となり、TLOを含めて上手く機能するかどうかが試される。そして、国際的に通用するギブアンドテークの対等な契約に基づく産学連携の地道な実績を積んで行けば、国内だけでなく、国際的なInnovation Value Chainの一環を日本の大学も担うようになるはずである。

最後に本論文の対象について再確認する。すなわち、本論文は、タイトルの副題に付けたように大学の応用研究部門に属する研究者が、企業の研究開発に携わる研究者と共同で推進する開発研究についての産学連携の問題を対象としている。そして、これを従来以上に実効的なものにして行くための

方策について検討したものである。

産学連携の問題は、歴史的には、産と学の接触が頻繁になった産業革命以後に生じた。これに対し、人間の知的活動は、当然の事ながら、産業革命よりもずっと以前からなされている。すなわち、この不可思議な自然や社会という研究対象から、産業や政府を介さず、じかに刺激を受けて知的好奇心を抱き、そこを出発点として自発的に知の創造と体系化を進める能力のある自律的な人々が古くから存在した。このような人々とその教えを求める人々が集まってできたのが大学の始まりであるという説がある。この説は、知識の伝承、すなわち教育という問題と合わせて大学の本来の使命は何かという根本的な問題に繋がり、大学の存在の本質を問う問題である。従ってこの問題は、産学連携という今日的な捉え方のみでかたづけられるべき軽い問題ではない。大学の誕生、すなわち、産業革命やルネサンスはもとより、ギリシャ、そして、エジプト、メソポタミア、インダス、中国の4大文明の発祥、さらには、人類の始まりにまで遡った事実に基づく深遠で真摯な議論によって論じられるべき極めて重い問題である。

謝 辞

本特集をまとめるに当たり、貴重なご助言を頂いた(株)ニコンの大和壮一博士、(株)ソニーの小笠原敦氏、そして、(株)日立製作所の岡崎信次博士、福田宏博士の各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) H. Chuma & Y. Aoshima ; RIETI Discussion Paper Series 03-E-003
- 2) <http://public.itrs.net/Files/2003ITRS/Home2003.htm>
- 3) 笹子勝、遠藤正孝：「リソグラフィの最近の話題」応用物理第73

- 卷第2号(2004)
- 4) 笠間邦彦:「次世代リソグラフィの展望」OPTRONICS(2003) No. 4 pp106-pp110
- 5) 小笠原敦:「科学技術動向」2001年5月号(文部科学省・科学技術政策研究所)
- 6) Technical Summary Digest; SPIE 29th Annual International Symposium on “Microlithography”, (22 - 27 Feb. '04, Santa Clara)
- 7) http://www.medeo.org/web_public/medeo_brochure.pdf
- 8) 齊藤 旬:「科学技術産業振興策としてのLLC(Limited Liability Company)制度」O+E, Vol. 25, No. 8(2003)
- 9) <http://www.sematec.org/>
- 10) <http://www.euva.or.jp>
- 11) http://www.imec.be/ovinter/static_general/start_en.shtml
- 12) <http://www.selete.co.jp/>
- 13) 渋谷真人:特開昭55-136484
- 14) F. Schellenberg; SPIE Milestone Series, Vol. MS 178(2003)
- 15) 高梨明絃ほか:特開昭57-153433
- 16) M. Switkes and M. Rothschild, J. Vac. Sci. Technol. B 19(6), Nov/Dec 2001, pp2353 - 2356
- 17) 奥和田久美:「科学技術動向」2003年4月号(文部科学省・科学技術政策研究所)
- 18) <http://www.jpo.go.jp/kanren/tlo.htm>
- 19) 黒田玲子「科学を育む」中公新書 p125 - 149(2002)
- 20) <http://www.mit.edu>
- 21) http://www.autm.net/index_2004annual.html
- 22) <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/ip/haihu16/siryo4-1.pdf> または、http://www.meti.go.jp/policy/innovation_corp/top-page.htm

