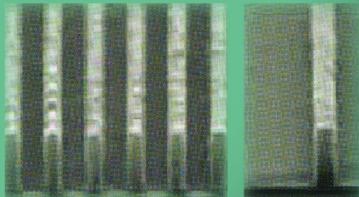
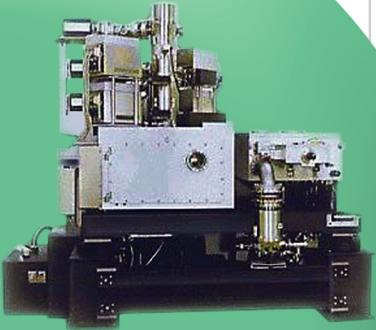
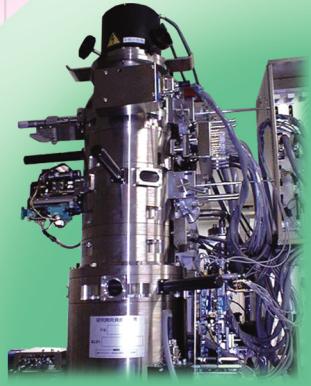


技術研究組合 超先端電子技術開発機構(ASET) の研究成果



技術研究組合 超先端電子技術開発機構
Association of Super-Advanced Electronics Technologies (ASET)

本冊子の作成趣旨

ASET（技術研究組合 超先端電子技術開発機構）が1996年に設立されて以来11年が経過しました。この間、ASETは半導体から磁気記録、液晶まで、電子デバイスを中心とし、幅広い分野に亘り多数の成果を上げてまいりました。これらの電子デバイスは、家電製品、携帯電話、デジタルカメラ、ゲーム、自動車などの製品や、サーバ、情報通信機器、ネットワーク、医療診断などの社会の基幹となる製品において、中枢となる情報の処理・伝送や人とのインターフェースに当たる部分を実現しております。このように、電子デバイスは社会生活で欠かせないものになっており、わが国産業の基幹製品として不可欠のものになっています。しかし、非常に重要な部品であるにも拘らず、電子デバイスは機器に組み込まれていて、一般の人は直接見ることができず、その重要性が理解されにくいものです。最近、研究開発の国家プロジェクトに対して様々な議論がなされていますが、その中に「国家プロジェクトの成果について国民に判りやすく説明する努力が足りないのではないか」というご批判があります。



理事長 西田 厚聰

そこで、ASETとしては、昨年11月に組合員幹部有志、ユーザ業界並びに学識経験者をメンバーとする「ビジョン研究会」を立ち上げ、今後のASETのあり方について精力的に検討を行ってまいりました。本ビジョン研究会では、ASETがこれまで開発してきたデバイスや製造装置の成果について、その経済的波及効果も含めて一般の人々に理解していただくために本パンフレットを作成しました。本ビジョン研究会は上のようなご批判を真摯に受け止め、ASETのこれまでの成果をできるだけ判り易く伝える工夫をいたしました。

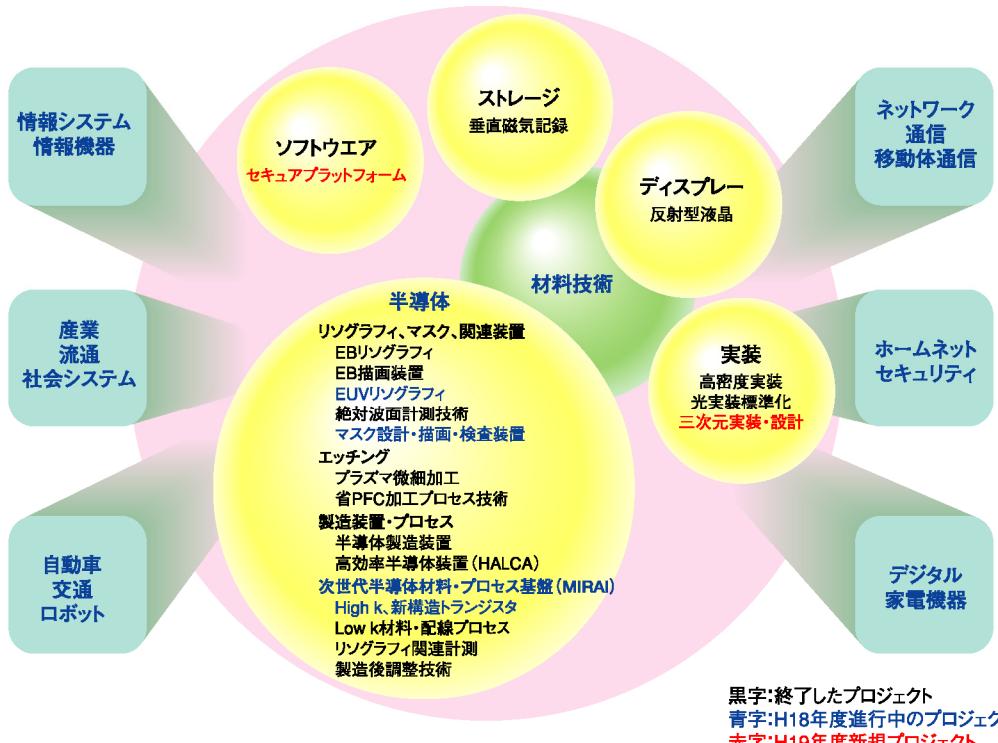
ASETは産業界のコンソーシアムとして、半導体デバイス、装置・材料、システムなど幅広い分野の組合員企業39社から成り立っています。今後も、このような特徴を活かし、企業のシナジー効果を最大限に発揮する研究体制をとってまいります。さらに、産業技術総合研究所などの独立行政法人、SeleteやSTARCなどの他のコンソーシアムとも連携しつつ、真に役立つASET、評価されるASETを目指したプロジェクト運営に引き続き努力してまいります。そして、各組合員は半導体等の先端電子技術分野における産業界の共通基盤技術の研究開発と実用化に向けてさらに邁進し、わが国産業の国際競争力向上と高度情報化社会の構築に引き続き努力してまいる所存です。そのためにも本パンフレットが少しでもお役に立てればこれに勝る喜びはありません。

経済産業省および独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構におかれましては、ASETの活動に対してこれまで頂いた多大なるご尽力に改めて感謝申し上げますとともに引き続き絶大なる御支援をよろしくお願ひいたします。

2007年3月

ASETの研究開発

ASETにおける過去10年の研究開発は、図1に示す分野で実施されました。その年次推移を図2に示します。



ASETプロジェクト	内容															
		H7 95	H8 96	H9 97	H10 98	H11 99	H12 00	H13 01	H14 02	H15 03	H16 04	H17 05	H18 06	H19 07	H20 08	H21 09
半導体	EB直描	高速電子ビーム直接描画装置の開発														
	マスクEB	高精度EBマスク描画装置の開発														
	EBリソグラフィー	超高精度EB描画技術の開発														
	X線等倍	X線等倍リソ(PXL)技術の開発														
	X線縮小	X線縮小リソ(EUV)技術の開発														
	ArFリソグラフィー	ArFリソグラフィー技術の開発														
	プラズマ	プラズマ技術の科学的解明														
	クリーニング	表面クリーニング技術の開発														
	磁気記録	40Gbit / inch ² 級ハードディスク基盤技術														
液晶	反射型液晶	反射型液晶デバイス及び材料基盤技術														
	EUVプロセス技術	EUVマスク / レジストプロセスの開発														
製造装置	高効率製造プロセス	プラズマ装置、エキシマレーザー等の開発														
	シミュレーション	FTP及びプロープカードの開発														
	F2リソグラフィー	F2光源及び関連技術の開発														
PFC代替プロセス技術	エッチングでのPFC使用量削減及びPFCを使用しないプロセスの開発															
超高密度電子SI技術	三次元高密度実装技術及び光電気複合実装技術の開発															
光実装部品標準化プロジェクト	ボード用光コネクタ、アクティペインタポーラーの標準化															
MIRAIプロジェクト(第1~3期)	High-kゲートスタック、Low-k層間絶縁膜及び将来のデバイスプロセス基盤技術の開発															
HALCAプロジェクト	多品種少量生産にも対応可能な省エネ型半導体製造プロセスの開発															
マスクD2Iプロジェクト	マスクの設計、描画、検査を全休として最適化するシステムの研究開発															

図2 ASETにおける研究開発の推移

NEDO事業

自主事業

時間や場所の制約を受けず自由自在に情報を活用できる社会、「ユビキタス社会」が間もなく実現されようとしています。ユビキタス社会では、携帯できるモバイル、着ることができるウエアラブル、さらにはタグのように物に付けられるほど小さく軽量の機器やカードなどの端末機器が、情報処理能力の高いサーバ、コンピュータ、光・無線ネットワークを介して結ばれます。家庭ではPC、インターネット、デジタルTVをはじめ、様々なデジタル機器がすでに利用されています。また、冷蔵庫、洗濯機などもインテリジェント化が進んでいます。最近の自動車には100個以上のLSI（マイクロプロセッサ）が搭載され、エンジンの燃料噴射、ボディ、ブレーキ、サスペンション、走行のコントロールのほか、カーナビゲーション、ETC、セキュリティなどの情報処理を行っており、車内LANで情報がやり取りされているものもあります。ハイブリッド車や、今後実用化される燃料電池等を用いた電気自動車においてはパワー半導体も重要な役割を果たしています。この様子を図3に示します。

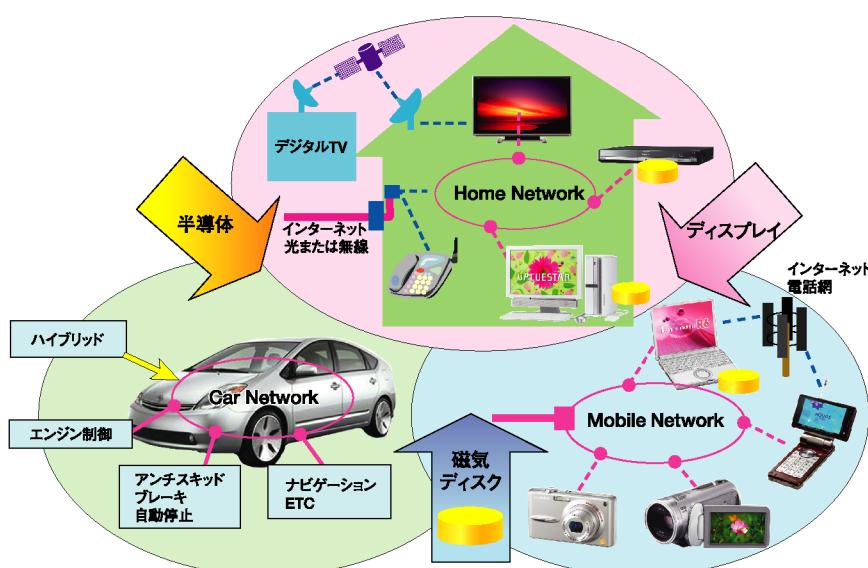


図3 エレクトロニクス機器のネットワーク化と半導体
写真提供：松下電器産業、日本電気、シャープ、トヨタ自動車

このような環境を実現するためには、エレクトロニクス機器の高度化、高機能化、低消費電力化を実現するLSI、ディスプレイ、ストレージが必須となっています。コンピュータには高性能のマイクロプロセッサをはじめとして、記憶装置（メモリ）などにもLSIが使われています。また、画像・通信機器では、音声、画像などのアナログ信号をデジタル信号に変換し信号処理や暗号処理を行うデジタル信号プロセッサ、デジタル信号を電波に載せて遠方へ送る半導体などが使われています。機器と人とのインターフェースには、液晶ディスプレイ（LCD）、プラズマディスプレイ（PDP）とそれらを駆動するドライバLSIが必要です。

LSIは産業ロボット、各種の製造・検査装置などの産業機器や、自動車、車両、ロボット、情報通信ネットワークを利用した安全システムや医療診断機器等、社会生活の根幹を形成する産業にも広く応用されています。これらのネットワーク化が進展し、国民生活の殆どに半導体、ディスプレイ、磁気ディスク等が使用されるようになっています。このため、エレクトロニクス機器における半導体の比率は今後ますます高まり、図4に示すように価格割合が上昇してきます。

図5は、1960年代から今までの半導体の微細化（μmで表示）と集積度の推移と予測を示しています。DRAMやパーソナルコンピュータの心臓部に使われるマイクロプロセッサ1個に集積されるトランジスタの数は、現在、10億個を超えています。集積度4G（G:ギガ=10億）ビットのDRAMには、新聞1万6千ページ分の情報を記録することができます。微細化の進展に伴い、微細加工技術に加え、新材料の開発、新トランジスタ構造の開発などが必須になっています。各国ではその実現に向けて研究開発競争が行われており、これらが成功すれば、今後も今までと同じスピードで微細化と集積化が続くものと思われます。

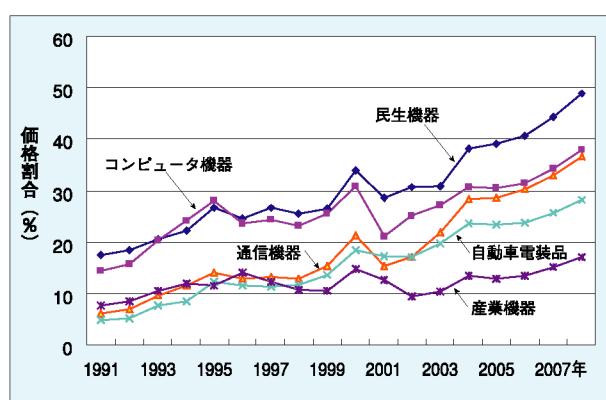


図4 エレクトロニクス機器における半導体の価格割合
出展：経済産業省資料（2006年8月）

LSIの回路をSi基板表面に作るには、回路データをパターンに変換し、石英ガラス表面の金属層にパターンを形成したマスク（レチクル）を用います。マスクは、設計された回路データをパターンデータに変換した後、電子ビーム描画装置によりパターンを石英ガラス基板上に形成して製造されます。ウエハ製造の各工程ではマスクを写真の原理によりウエハ上に塗布された感光剤（フォトレジスト）に投影し、パターン形成が行われます。リソグラフィに使用するマスクは、最近のLSIでは30枚以上になります。

LSIは数百工程を経て製造されます。それを単純化すると、図6に示すように、トランジスタを形成する工程と、配線を形成する工程から成っています。トランジスタ工程では、基板となるシリコンウエハに酸化膜成長などの製膜を行い、その後、エッチング加工を行って、製膜された部分を加工します。この工程を繰り返すことにより素子（トランジスタ）が形成されます。配線工程では絶縁膜を堆積し、加工した溝に銅をメッキし、その銅を研磨することによって、配線部分が形成されます。最近のLSIでは、その工程を10層前後近く繰り返すことによって、複雑な配線部分が形成されます。

シリコンウエハ上に数百工程を経て完成したLSIは1cm角程度のチップです。これを検査し、パッケージに搭載後、さらに検査を行ったものが、エレクトロニクス機器メーカーに出荷され、機器に搭載されます。

ASETは、発足後、半導体、磁気ディスク、液晶ディスプレイ等の技術を開発しました。現在、ASETのテーマの多くは半導体に関連するものです。ASETの研究開発においてはLSIの基盤技術を取り上げ、リソグラフィ、ドライエッチング、プラズマ処理、化学機械研磨などのプロセス技術、製造装置、材料技術の研究開発を行っているのをはじめ、装置も開発しています。また、磁気ディスク、液晶ディスプレイ等の技術も開発しました。

次ページ以降では、成果が事業に結実しつつある、

- ①電子ビーム描画技術、
- ②ArFリソグラフィ技術、
- ③磁気ディスク技術、
- ④環境への取り組み

について技術成果と効果に関して詳しく説明するとともに、その他のEUVリソグラフィ技術、プラズマプロセス技術、三次元高密度実装技術、HALCA、MIRAI等最近のプロジェクトの成果についても概説いたします。

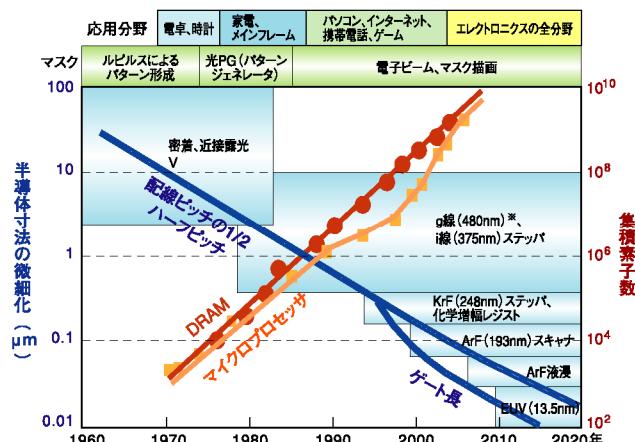


図5 半導体の寸法微細化と集積素子数向上の推移と予測

※) nm : ナノメートル、10億分の1メートル

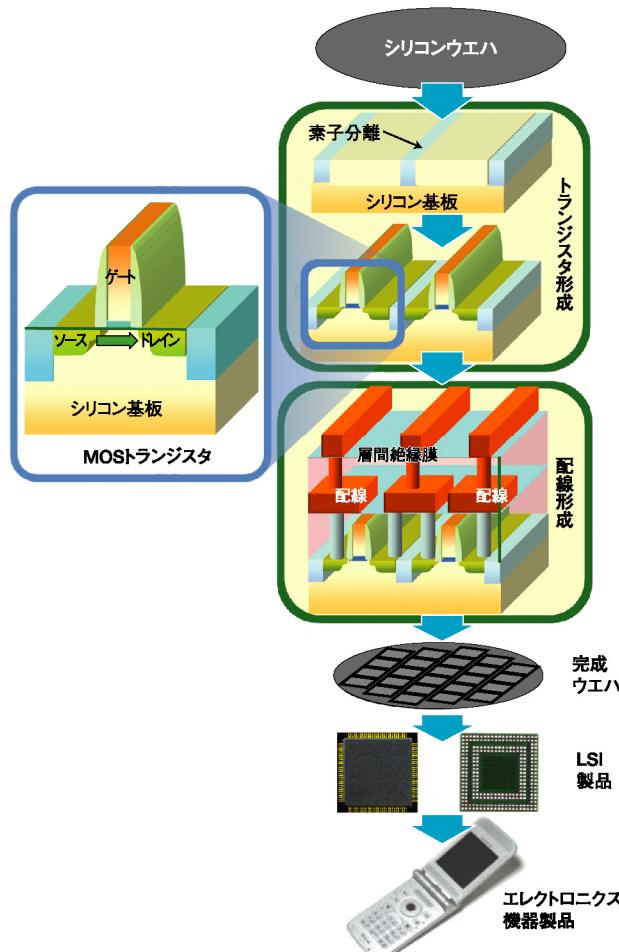


図6 LSIの製造工程の簡単な説明図

マスク製作と半導体微細加工を支える 電子ビーム描画技術

電子ビーム描画装置は、LSIのマスク製作において欠かすことのできない最も重要な装置です。100nm以下世代に入ったLSIにおいては、マスクに要求される精度は非常に厳しいものとなります。このためマスク製作用の電子ビーム描画装置に対しては、今までにない厳しい精度が求められています。

また、電子ビーム描画装置は半導体ウエハに直接パターンを描画するのにも用いられます。電子ビームを用いることで、非常に微細なパターンも生成でき、将来の高集積化に対応することができます。LSI製造工程で使用する（フォト）マスクに描画する場合は電子ビームマスク描画技術、ウエハに直接描画する場合は電子ビーム直接描画技術と呼びます。

ASETでは、100nm以下世代のリソグラフィに対するニーズを見据えて、1996年～2001年度にかけて電子ビーム描画装置関連の開発を実施しました。

開発技術：電子ビームを用いた 描画技術の高度化

ASETでは、電子ビームマスク描画技術と電子ビーム直接描画技術の両方の電子ビーム描画技術を開発しました。その内容は次の通りです。（図7、図8）

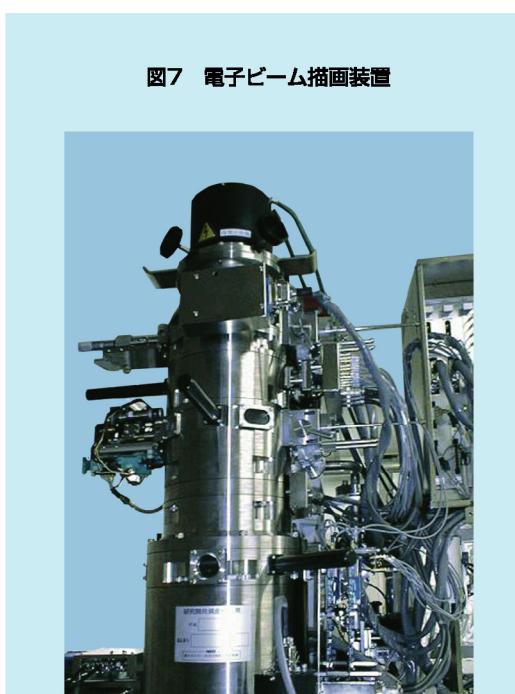
1. 電子ビームマスク描画技術：

マスク（短寸法150nm以下、位置精度20nm以下）を、高精度に描画するために、高精度装置制御技術、高精度補正技術、高精度電子光学系技術を開発しました。

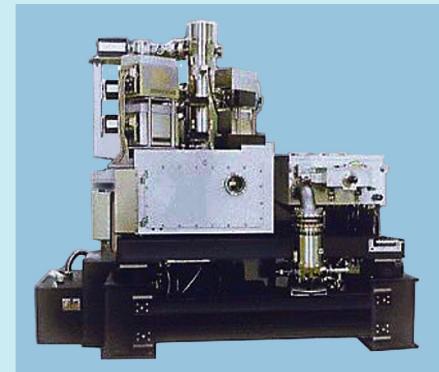
2. 電子ビーム直接描画技術：

複数の開口部（アーチャ）を用いて電子ビームを成形して露光する方法や、複数の電子ビーム鏡筒を並列に制御することにより、ウエハに直接パターンを高速に描画する技術を開発しました。

図7 電子ビーム描画装置



(a) 電子ビーム直接描画装置



b) 電子ビームマスク描画装置

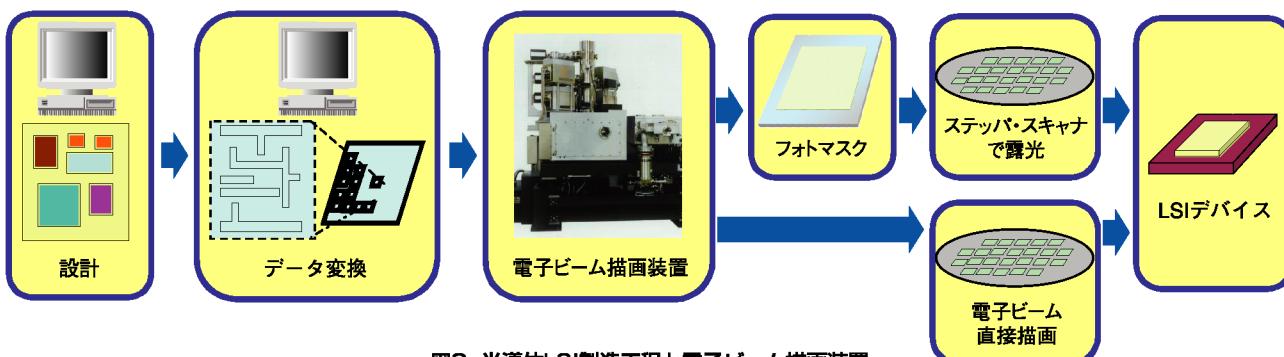


図8 半導体LSI製造工程と電子ビーム描画装置

開発効果 電子ビーム描画装置の日本企業シェアの大幅向上

ASET開発寄与

	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	試算条件
装置市場規模(億円)*	279	363	342	409	449	371	各年度日本メーカー売上高を2000年度売上高と比較し、その増分に ASETの寄与割合を乗じて算出
日本メーカー売上高(億円)*	137	312	294	348	359	316	
ASETの寄与割合		50%	40%	30%	20%	10%	
ASETの寄与(億円)		88	63	63	44	18	
ASETの寄与累計				276億円			
ASET開発予算				66億円(1996-2001年度)			

(*) 出典：「半導体製造装置データブック」(電子ジャーナル)

ASET寄与試算の考え方

- ・ ASETでは数社からの開発チームが一丸となり、100nm以下世代に要求される精度をもつマスクの生産を可能とする、電子ビーム描画装置の開発を行いました。
- ・ 開発終了直後の1999年には、ASET開発成果を適用した電子ビーム装置が参加各社で製品化されました。新製品のベースとなる技術は、周辺装置、ソフトウエアも含めてASETにおいて共同開発された技術です。製品化に当たっては各社内でさまざまな開発が付加されていますので、ASETの寄与割合を50%であると見積もります。
- ・ これらの電子ビーム描画装置の製品化により、日本メーカーのシェアが大幅に拡大(2000年 49%→2005年 85%)し、先端マスク製造用電子ビーム描画装置は、殆ど日本のメーカーが独占するようになりました。
- ・ 半導体の世代交代に伴い、電子ビーム描画装置も世代交代します。ASETでの開発成果は基盤技術であり、半導体プロセスにおいてマスクが利用される限り使われます。しかし、世代交代により新しい技術が付加されるため、ASET技術の寄与割合は年10%下がり、2005年以降には10%になると考えました。

以上の事項より、

$$\text{2001年のASET寄与} \quad [(01\text{年日本メーカー売上}) - (00\text{年日本メーカー売上})] \times 50\% = 88\text{億円}$$

.....

$$\text{2005年のASET寄与} \quad [(05\text{年日本メーカー売上}) - (00\text{年日本メーカー売上})] \times 10\% = 18\text{億円}$$

となり、ASETの電子ビーム描画装置開発での寄与金額累計は、276億円と見積もりられます。

図9はマスク各世代のコストに要求されるパターンの位置精度および電子ビームマスク描画装置の精度の推移です。ここに示されるように、各世代において電子ビームマスク描画の精度は必要とされる精度を満たしていることが判ります。ASETでの研究成果を基に描画装置の高精度化を実現したわが国の電子ビーム描画装置メーカーは、図10に示すように、それまで海外のメーカーが主導的であった市場を逆転し、日本メーカーのシェアを大幅に伸ばしました。

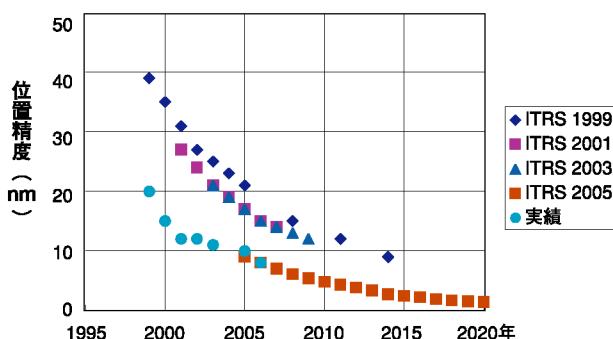


図9 パターンの位置精度および電子ビームマスク描画装置の精度の推移

出典：(株)ニューフレアテクノロジー・日本電子(株)公表資料
及びITRS*資料より作成

わが国の電子ビーム描画装置の優位性は、それを用いて製作される半導体製造用(回路描画)のマスク／レチクル市場において、わが国のマスクメーカーに対してもシェア向上といった形で貢献をしています。

* 注 ITRS : International Technology Roadmap for Semiconductors 国際半導体技術ロードマップ

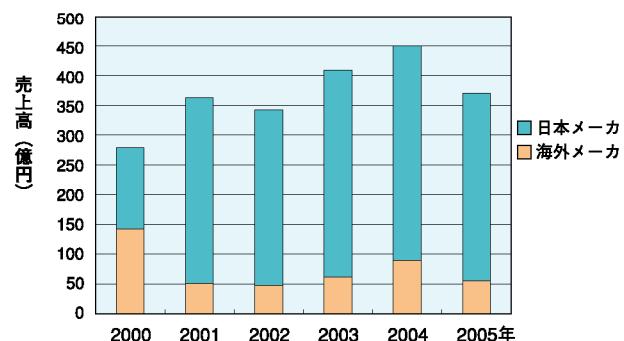


図10 電子ビーム描画装置の世界市場での売上高推移

出典：「半導体製造装置データブック」
(電子ジャーナル)より作成