

半導体製造装置プロセス管理技術

特許審査第三部審査調査室

半導体製造装置プロセス管理技術の重要性

図1は代表的な半導体記憶デバイスである、DRAM (Dynamic Random Access Memory) の開発から量産までの歩留りの推移を示したものです。DRAMの記憶容量は、80年代の64K~4Mから90年代前半16M~64Mを経て90年代後半の256Mへと、微細加工技術の進歩につれて大容量化しています。微細化が進み製造技術が複雑高度化すれば製造初期の歩留まりは低下すると予想されますが、実際は微細化が進むにしたがい初期歩留りがむしろアップしていることが分かります。この背景には、最新の半導体製造装置の導入と同時に、「装置レシピ」や「イールドマネジメント」といった、半導体プロセス管理製造

技術を導入する動きがあると言われています。「装置レシピ」とは、製造装置の複雑な動作を記述したプログラムの一種であり、装置導入に伴う実験・実測コストを低減する効果があります。また、「イールドマネジメント」とは、半導体製造プロセスデータを収集し、数学的手法を用い歩留まり向上方法を提案するコンサルティング手法の一つであり、最近ではイールドマネジメントを専門とするベンチャー企業の活躍も見られるようになっていきます。これらを含めた「半導体製造装置プロセス管理技術」は、最近の多品種少量生産と短納期化の要求に対応するためにも、その重要性が一層高まりつつあります。

そこで、平成16年度の技術動向調査では、近年重要性を増す「半導体製造装置プロセス管理技術」について調査を行いました。

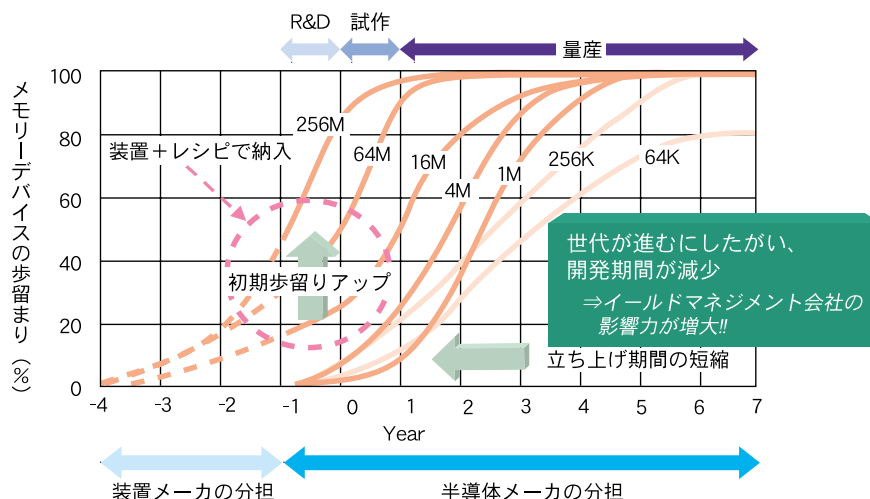


図1 DRAMの開発から量産に至る歩留りの推移

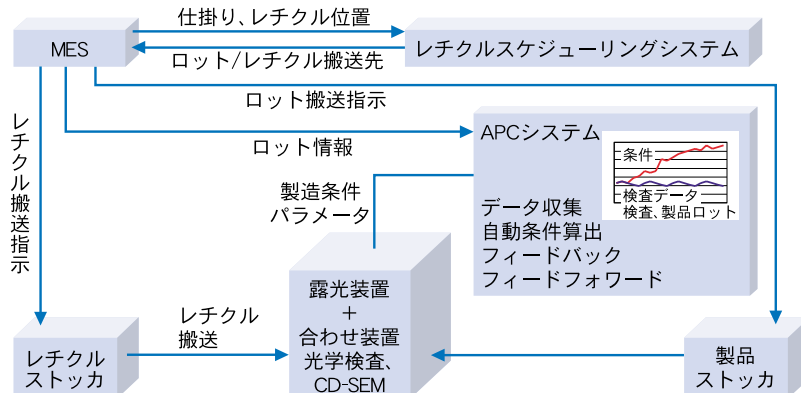


図2 リソグラフィ工程におけるAPCシステム概要

2. 半導体製造装置プロセス管理技術の具体例 (APC)

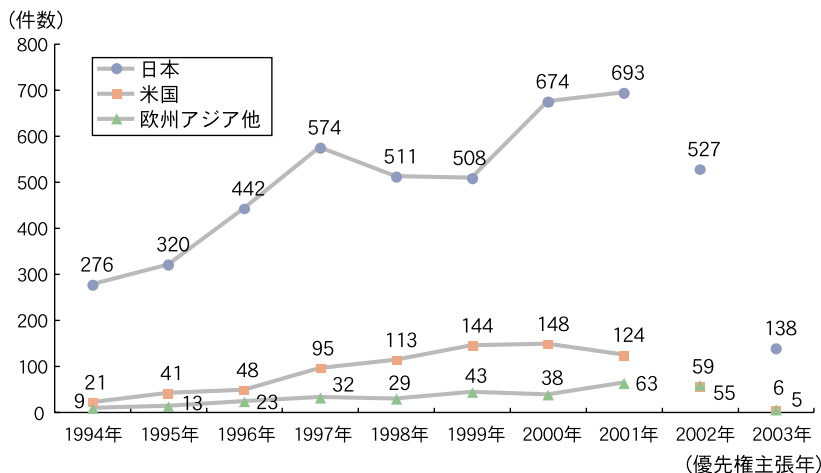
半導体製造装置プロセス管理技術の具体例として、APC (Advanced Process Control) システムの概要を図2に示しました。APC (Advanced Process Control) は、複雑な装置レシピ及び製造工程を管理し、さらに製造条件データを収集して解析することによって、自動的に条件変更をかけるなどの機能によって、製造条件パラメータを管理する技術です。

MES (Manufacturing Execution Systems) によって情報管理された製品ロットと、露光装置及び検査装置 (合わせ装置、光学検査装置、CD-SEM)、レチクル情報システムなどを総合的に管理するシステムであり、その中核

はAPCシステムによるデータ管理システムです。検査や製品情報を収集して、製造条件を自動算出、条件パラメータ設定を装置にダウンロードすることによって、半導体製造の1プロセス (ここでは露光処理) を行っています。

3. 半導体製造装置プロセス管理技術特許の全体動向

世界の各地域別の出願年別公開/公表・登録件数推移を示したのが図3です。半導体製造装置プロセス管理技術に関する特許出願は、世界の各地域で増加する傾向にあります。1994年から2003年の日本及び欧州アジア他地域の公開/公表特許の合計件数4965件についての内



注：米国は登録特許件数 それ以外は公開/公表特許件数

図3 出願先3地域の出願年別公開/公表・登録特許件数推移

訳でみると、日本国籍出願人の件数は3857件と、全体の約70%を占めており、2位米国（587件）を件数の上では大きく引き離しています。

図4、5は半導体プロセス管理技術の出願人別構成比を示したものです。図4は日本を出願先国とする公開／公表特許4663件、図5は米国を出願先国とする登録特許794件の出願人構成比です。日米とも有力な半導体メーカーや製造装置メーカーが上位を占めていますが、特にアプライドマテリアルズ社（AMAT）やキャノンは日米ともに上位にランクされ、半導体プロセス管理技術に積極的に取り組んでいることがうかがえます。また世界的

ファブリー（半導体チップ製造請負メーカー）であるTSMC（台湾）が米国登録件数で3位に位置しています。

4. 装置レシピに関する特許の動向

装置レシピとは、製造装置が実行すべき一連の動作を記述した自動制御ソフトウェアです。装置レシピに関する特許は、図6、7に示したように、日米ともに増加傾向にあります。

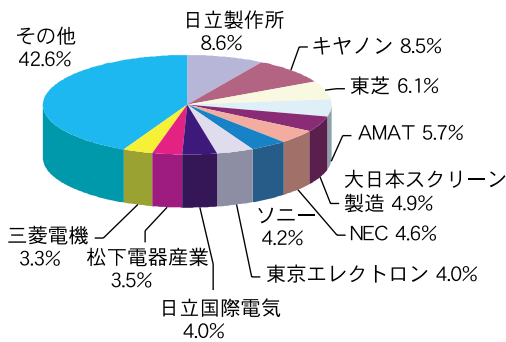


図4 日本を出願先国とする出願件数に占める上位機関の構成比

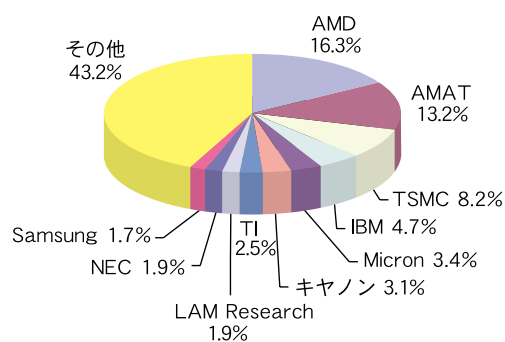


図5 米国を出願先国とする出願件数に占める上位機関の構成比

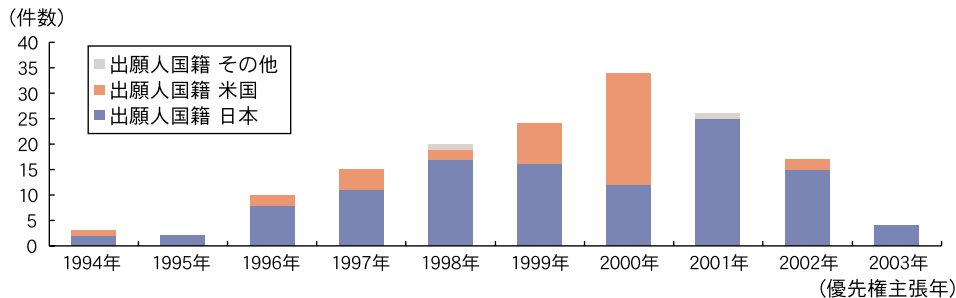


図6 日本公開特許における装置レシピに関する特許の出願年別推移

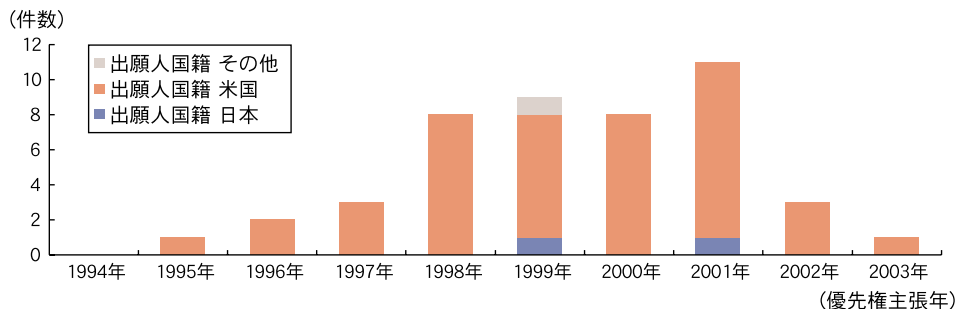


図7 米国登録特許における装置レシピに関する特許の出願年別推移

図8は、装置レシピに関する特許の日米の上位出願人についての調査結果です。装置レシピに関する日本公開／公表特許では、1位のアプライドマテリアルズ社（AMAT）が27件で、2位のニコン、大日本スクリーン製造の各12件ずつに2倍以上の差をつけています。

また、米国登録特許でもアプライドマテリアルズ社が実質7割を占めており、レシピに関する特許では、アプライドマテリアルズ社の出願が圧倒的に多くなっています。

願人であるアプライドマテリアルズ社（AMAT）は、1992年に半導体製造装置の世界における売上高第1位となつて以降ずっとトップの座を守り続け、2002年の売上高ではついに日本の上位3社（東京エレクトロン、ニコン、キャノン）の売上総計を上回るなど、半導体製造装置の世界で圧倒的な地位を築いている企業です。また、これまで見てきたように、プロセス管理技術全体及び装置レシピの特許でも上位を占めています。そこで、AMAT社の売上推移と米国登録特許の出願年推移及び半導体製造装置プロセス管理技術特許の推移を比較してみたところ（図9、10）、売上の伸びにつれて出願件数もおおむね増加する傾向を示しています。

ただ、1996年から1999年にかけて売上の伸びが一時停滞している間も出願件数が伸びている様子が見られ

5. アプライドマテリアルズ社（AMAT）の動向について

半導体製造装置プロセス管理技術特許に関する主要出

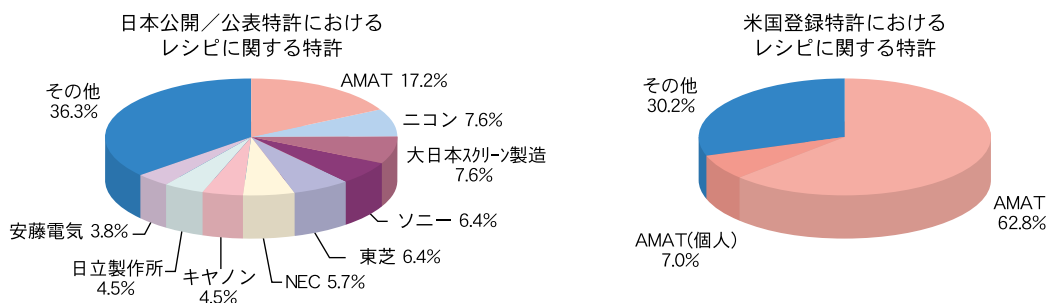
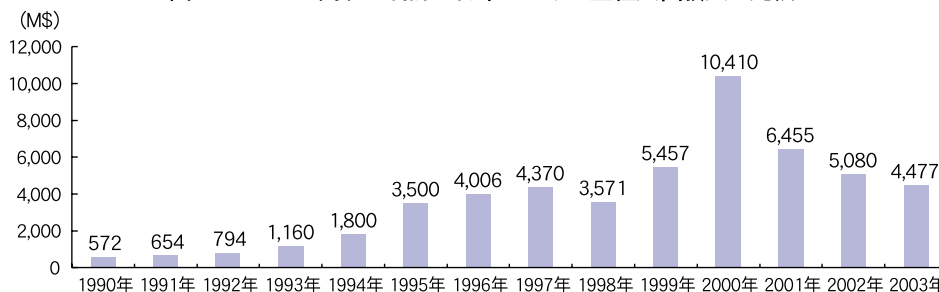
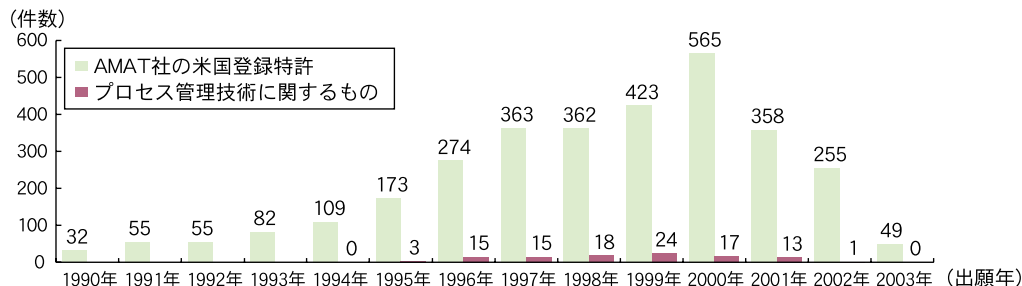


図8 レシピに関する特許の日米における上位出願人の比較



注：2002年まで暦年ベース。2003年は会計年度（2002年11月から2003年10月末）

図9 アプライドマテリアルズ社の売上推移



注：AMAT社の米国登録特許の件数は米国特許商標庁データベースを使用し、検索式として、AN/ ("Applied Materials") and APD/1/1/1990>12/31/1990を基本に1年づつ2003年まで繰り返した結果である（検索日：2005年3月3日）。

図10 アプライドマテリアルズ社が出願人となっている米国登録特許の推移

ます。この時期が、プロセス管理技術に関する出願が出てきた時期と一致していることは特徴的です。またこの時期は当時新興の台湾ファブリー企業が発激に売上を伸ばしていた時期でもあり、AMAT社はこの間に台湾向けの売上を4億ドルから10億ドルに伸ばしています。おそらくAMAT社はこの時期、半導体製造の面で当時まだ経験不足であった台湾ファブリー企業から、半導体製造装置の販売だけでなく、その使い方、装置レシピのようなプロセス管理技術に関するノウハウの提供を求められ、結果として特許出願を増やしたとも考えられます。すなわちAMAT社はこの時期に、ハードウェア専門企業からプロセス管理技術に付加価値の重点をおいたソリューション提供企業へと変貌を遂げたと推測されます。

6. 複数製造装置プロセス管理技術に関する特許の動向

製造プロセスのシステム化が進む半導体装置産業においては、単体の製造装置だけでなく、複数機能を一台の装置に統合あるいは複数装置を有機的に結合したシステム化技術も重要です。そこで、日米の主要出願人の複数製造装置プロセス管理技術について調査したところ、アプライドマテリアルズ（AMAT）社の件数が突出しているという結果が得られました（図11）。これは、AMATが単体製造装置のレシピだけでなく複数製造装置のレシピにも着目し、システム化の方向を進めていることの表れと見られます。

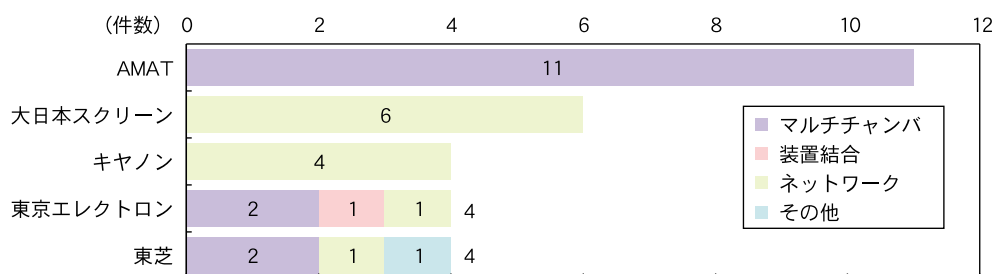


図11 複数製造装置プロセス管理技術に関する上位出願人の技術区分別出願件数分布（日本公開／公表特許）

7. イールドマネジメントに関する特許の動向

イールドマネジメントに関する特許に含まれる主な要素技術を示したのが図12、図13です。日本の出願人は

イールドの基礎である検査測定技術を中心に、イールドに関係する比較的幅広い要素技術について出願しているのに対し、米国の出願人はイールド解析技術に集中して出願しています。

また、イールドに関する上位出願人を日米で比較す

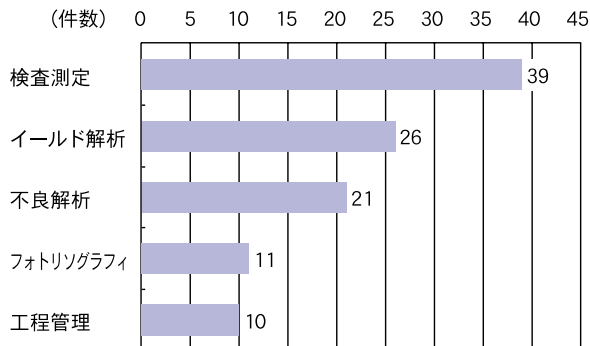


図12 日本を出願人国籍とするイールドに関する公開／公表特許の主な要素技術の比較

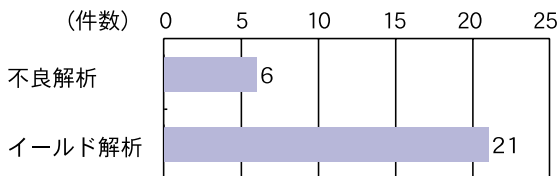


図13 米国を出願人国籍とするイールドに関する登録特許の主な要素技術の比較

ると(図14)、日本の出願人は大手半導体メーカーが大半であるのに対して、米国では製造装置メーカー(AMAT)やファブリー(TSMC)など多様な出願人が現れています。また米国では、新興のイールドマネジメント企業であるYield Dynamics社が登場している点も特徴的です。

イールドマネジメントをビジネスとして展開するという動きは、近年になって活発になってきています。イールドマネジメントを専業とする主な企業の売上と主要顧客を表1に示します。これら各企業の顧客には、日本の半導体メーカーも多く、市場拡大に寄与しています。一方で、日本国内にはイールドマネジメント分野のベンチャー企業はほとんど見られません。

8. 論文発表の動向

半導体製造装置プロセス管理技術は広く半導体製造技術のなかに含まれて扱われてきたため、特に専門の学会はありませんが、従来から半導体製造国際シンポジウム(SSM)では半導体製造装置プロセス管理技術に関する発表が見られるため、今回SSMの論文発表動向について調査を行いました。

ISSMにおけるプロセス管理技術に関する研究論文発表は1999年の22件から2004年には49件と、この6年間で倍以上の伸びを示しています。1999年～2004年の合計件数204件の内訳をみると、トップの日本69件、2位米

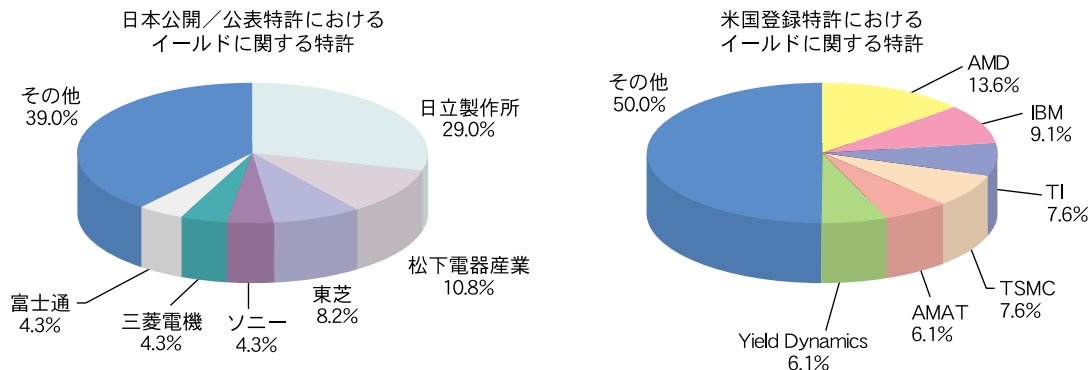


図14 イールドに関する特許の日米における上位人出願人の比較

表1 イールドマネジメントを専業とする主な企業

(千ドル)

企業名	売上 (2003年)	主要顧客
HFL Technologies, Inc.	12,701	
iSEMICON, Inc.	NA	三星電子、Anam半導体 (韓国)、TSMC
Mirero Inc.	NA	三星電子、三星SDI、三星電子部品、LG電子、LGセミコン (現ハイニックス)、LG電子、LG化学、現代電子 (現ハイニックス)、Anan半導体、三和コンデンサ、等の韓国企業
PDF Solutions, Inc.	42,526	東芝、ソニー、松下電器、エプソン
Yield Dynamics, Inc.	NA	AMD、ザイリンクス、NS、マイクロン、サイプレス、Spansion、コネクサント、フィリップス、東芝、シャープ、NEC、沖電気、TSMC等

国の63件、3位台湾の43件で全件数の約85%を占めています。特に台湾は、ISSM発表論文総数89件に対し43件と半数近くがプロセス管理技術についての研究発表となっており（図15）、この分野への集中が目立っています。この6年間のISSMにおけるプロセス管理技術に関する研究論文発表件数上位機関は、1位Intel（米：23件）、2位

TSMC（台湾：17件）、3位Spanion（富士通とAMD（米）の合併：11件）となっています。この3社の論文を技術区分別に見ると、トップのIntelは生産効率化や工程間搬送に関する論文発表が多く（図16）、TSMCは工場生産管理技術、短納期化技術、イールド管理技術に関する論文が多い傾向となっています（図17）。3位のSpanionは

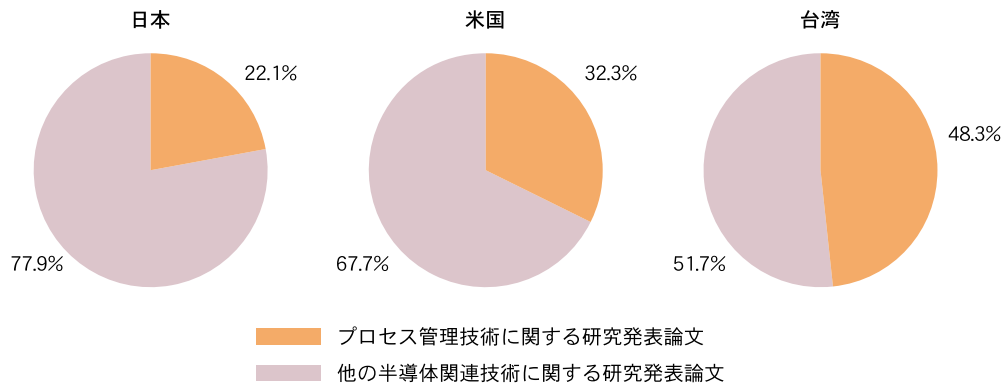


図15 主要3ヶ国のISSMにおける研究発表論文に占めるプロセス管理技術関連の割合

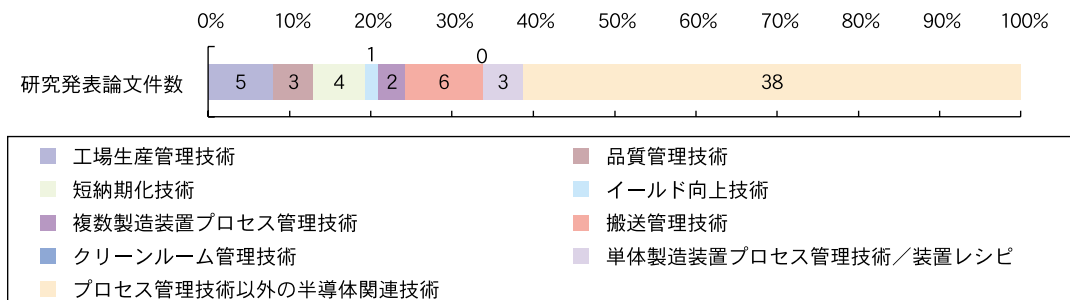


図16 IntelのISSMにおける（1999～2004年）研究発表論文の技術区分別分布

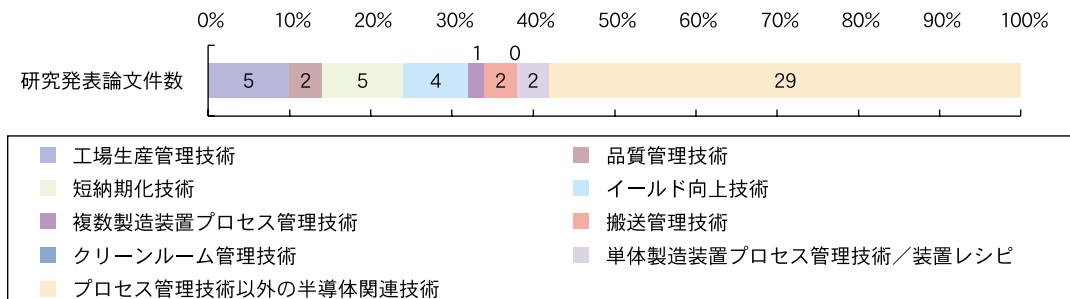


図17 TSMCのISSMにおける（1999～2004年）研究発表論文の技術区分別分布

比較的まんべんなく各技術区分で発表がなされており、際立った傾向は見られません（図18）。なお、特許出願において上位を占めていたアプライドマテリアルズ社

（AMAT）は、ISSMではこの6年間に1件しかプロセス管理技術の論文発表をしておらず、特許と論文発表とで対照的な傾向を見せています。

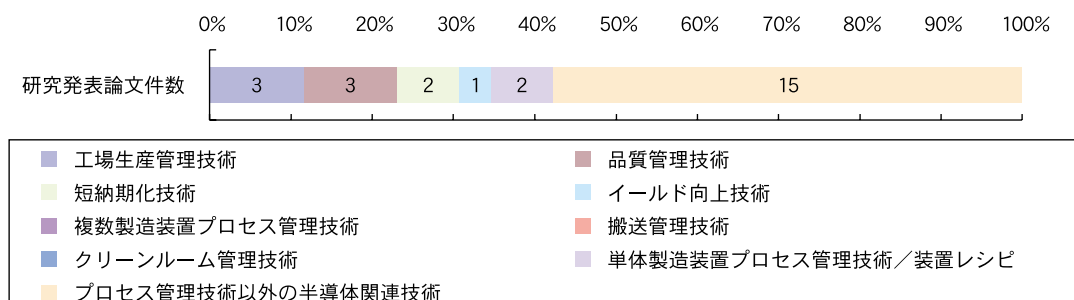


図18 SpansionのISSMにおける（1999～2004年）研究発表論文の技術区分別分布

9. まとめ

半導体プロセス管理技術に関する特許は、世界の各地域で増加傾向にあり、件数の上では日本が優位にあります。

しかし装置レシピに関する特許では、アプライドマテリアルズ社（AMAT）が日米で1位を占めており、また複数製造装置のシステム化技術の点でも突出した結果が見られるなど、同社の戦略性が顕著に表れています。これに対し日本の大手半導体メーカーや製造装置メーカーについては、明確な戦略性がまだ見られていません。これは、論文発表から見た研究開発動向についても同様の傾向がうかがえます。

また、イールドに関する特許を見ると、米国では新興

のイールドマネジメント企業を含むさまざまな種類の出願人が登場し、ベンチャー企業も積極的に自社技術の特許化を進めているのに対して、日本の出願人は大手半導体メーカーが大半で、イールドマネジメントを専門として展開する動きは特許出願動向、市場動向のいずれにおいても現れていません。

今後日本の半導体産業には、半導体製造装置、半導体製造プロセスの付加価値が装置レシピやイールドマネジメントといったソフトウェア的な要素にシフトしている傾向をより強く意識し、その中で自社に優位性のある技術に集中した研究開発戦略、特許戦略を構築していくことが求められているといえます。