

CONTENTS

はじめに	3
------	---

Chapter 1

半導体・半導体製造装置業界の現状

01	かつて「産業のコメ」といわれた半導体	12
02	1990年代後半に起きた半導体産業の構造変化	14
03	半導体製造装置の販売額の国別シェア	16
04	半導体と半導体製造装置の市場規模	18
05	半導体製造装置で存在感を示す日本	20
06	シクリカルな成長フェーズに入った半導体業界	22
07	世界の主な半導体製造装置メーカー	24
08	東京エレクトロンの最新動向と特徴	26
09	アドバンテストの最新動向と特徴	28
10	SCREENの最新動向と特徴	30
11	日立ハイテクの最新動向と特徴	32
12	KOKUSAI ELECTRICの最新動向と特徴	34
13	ニコンの最新動向と特徴	36
14	ダイフクの最新動向と特徴	38
15	半導体需要に合わせて拡大する中古装置市場	40

COLUMN 1

台湾 TSMC が日本に初上陸	42
-----------------	----

Chapter 2

半導体製造プロセスの概要

01	社会インフラを担う半導体のしくみ	44
02	回路を形成する前工程と製品を加工する後工程	46
03	ウェーハ上に薄膜を形成する「成膜」の概要	48
04	ウェーハ上に回路を転写する「リソグラフィ」の概要	50
05	回路パターンを形成する「エッチング」の概要	52
06	各プロセスの間に行われる「洗浄」「乾燥」の概要	54
07	「不純物添加」「平坦処理」の概要	56
08	「ダイシング」「ボンディング」「モールドイング」の概要	58
09	正常に作動するか判別する「検査」の概要	60

COLUMN 2

半導体の歴史・変遷	62
-----------	----

Chapter 3

成膜装置・エッチング装置の市場と技術動向

01	成膜装置とエッチング装置の特徴	64
02	3種類の方法がある成膜装置のしくみ	66
03	生産性と精度で使い分けるエッチング装置のしくみ	68
04	成膜装置とエッチング装置の参入メーカーの動向	70
05	成膜装置とエッチング装置の最新技術の動向	72

COLUMN 3

IT企業の約7割が半導体不足で打撃	74
-------------------	----

Chapter 4

リソグラフィー装置の市場と技術動向

01	複数の装置を搭載するリソグラフィー装置の構造	76
02	リソグラフィー装置の参入メーカーの動向	78
03	リソグラフィー装置の最新技術の動向	80
04	レジスト塗布装置・剥離装置のしくみ	82
05	高い解像度が求められる露光装置のしくみ	84
06	不要なフォトリジストを溶かす現像装置のしくみ	86

COLUMN 4

貿易規制を受けた韓国の国産化の動き	88
-------------------	----

Chapter 5

洗浄装置・CMP装置の市場と技術動向

01	ウェーハから付着物を取り除く洗浄装置のしくみ	90
02	ウェーハの酸化を防ぐ乾燥装置のしくみ	92
03	洗浄装置の参入メーカーの動向	94
04	洗浄装置の最新技術の動向	96
05	物理的な力を利用した洗浄技術	98
06	ウェーハを平坦にする CMP 装置のしくみ	100
07	CMP 装置の参入メーカーの動向	102
08	CMP 装置の最新技術の動向	104

COLUMN 5

米中 2 つの経済大国の対立と影響	106
-------------------	-----

Chapter 6

後工程装置の市場と技術動向

01	後工程で使用するさまざまな装置	108
02	後工程装置の参入メーカーの動向	110
03	後工程装置の最新技術の動向	112
04	チップに個片化するダイシング装置のしくみ	114
05	チップを固定するダイボンディング装置のしくみ	116
06	電氣的に接続するワイヤーボンディング装置のしくみ	118
07	チップを保護するモールドング装置のしくみ	120

COLUMN 6

半導体を巡る地政学リスク	122
--------------	-----

Chapter 7

検査装置の市場と技術動向

01	半導体製造の過程で行われる検査	124
02	工程ごとの検査内容	126
03	検査装置の参入メーカーの動向	128
04	検査装置の最新技術の動向	130
05	工程ごとに使用する検査装置の種類と役割	132
06	電気特性検査で使用するプロービング装置のしくみ	134
07	パッケージ検査で使用するハンドラのしくみ	136
08	顕微鏡による外観検査	138
09	画像処理による不良品検出	140

COLUMN 7

安全保障のための「ワッセナー協約」	142
-------------------	-----

Chapter 8

半導体材料の市場と技術動向

01 半導体材料の市場規模と動向	144
02 イレブンナインという高純度シリコンの製造	146
03 フォトマスクの役割と最新動向	148
04 フォトレジストの役割と最新動向	150
05 ウェット化学薬品の役割と最新動向	152
06 ガスの役割と最新動向	154
07 スパッタターゲットの役割と最新動向	156
08 スラリーと研磨パッドの役割と最新動向	158
09 ダイアタッチ材の役割と最新動向	160
10 ボンディングワイヤーの役割と最新動向	162
11 モールド樹脂の役割と最新動向	164
12 セラミックパッケージの役割と最新動向	166
13 リードフレームの役割と最新動向	168
14 基板の役割と最新動向	170
15 その他の半導体材料の種類と役割	172

COLUMN 8

国際展示会「SEMICON Japan」	174
----------------------	-----

Chapter 9

半導体製造装置業界の業務

01 半導体製造装置メーカーの構造と部門	176
02 顧客と接する機会の多い営業の仕事	178
03 セールスエンジニアの1日のスケジュール	180
04 幅広い地域からの需要に対応するための事業	182
05 情報やデータを駆使するデータサイエンティストの仕事	184
06 データサイエンティストの1日のスケジュール	186
07 最先端の技術を駆使する技術職の仕事内容	188
08 半導体製造装置メーカーで求められるスキル	190
09 半導体製造装置メーカーの教育体制	192
10 半導体製造装置メーカーの給与やボーナスの事情	194

COLUMN 9

SEMI 発足の経緯と役割	196
---------------	-----

Chapter 10

半導体メーカーと半導体商社

01 身近なところで活用される半導体	198
02 大手半導体メーカーの売上	200
03 売上を伸ばしている国内の半導体メーカー	202
04 半導体メーカーの仕事内容	204
05 半導体メーカーの事業形態	206
06 半導体商社の役割と活用のメリット	208
07 日本国内の主な半導体商社	210

かつて「産業のコメ」といわれた半導体

1947年に半導体部品であるトランジスタが開発されて以降、アメリカと日本が半導体産業の発展を支えてきました。1990年には、世界の半導体シェアの49%を日本が占めるほどでした。

半導体産業が戦後経済の中核を担う

半導体戦略（概略）

近年のデジタル化の進展に伴い、経済産業省が定めた今後のデジタルインフラやその基盤となる半導体産業の政策の方向性。

トランジスタ

弱い電気信号を強い信号に変えたり、電気信号の流れを高速でスイッチングしたりする役割を果たす小さな電子素子。

経済産業省が2021年6月に発表した半導体戦略（概略）によると、2019年における世界の半導体の売上のうち、日本企業が占める割合は10.0%でした。

もともと半導体産業は、1947年にアメリカでトランジスタと呼ばれる半導体部品が発明されたことで始まったものです。その後、アメリカが軍事部門や宇宙開発部門などで半導体産業を牽引し、日本が主にラジオやテレビといった家電部門で半導体産業を牽引しました。

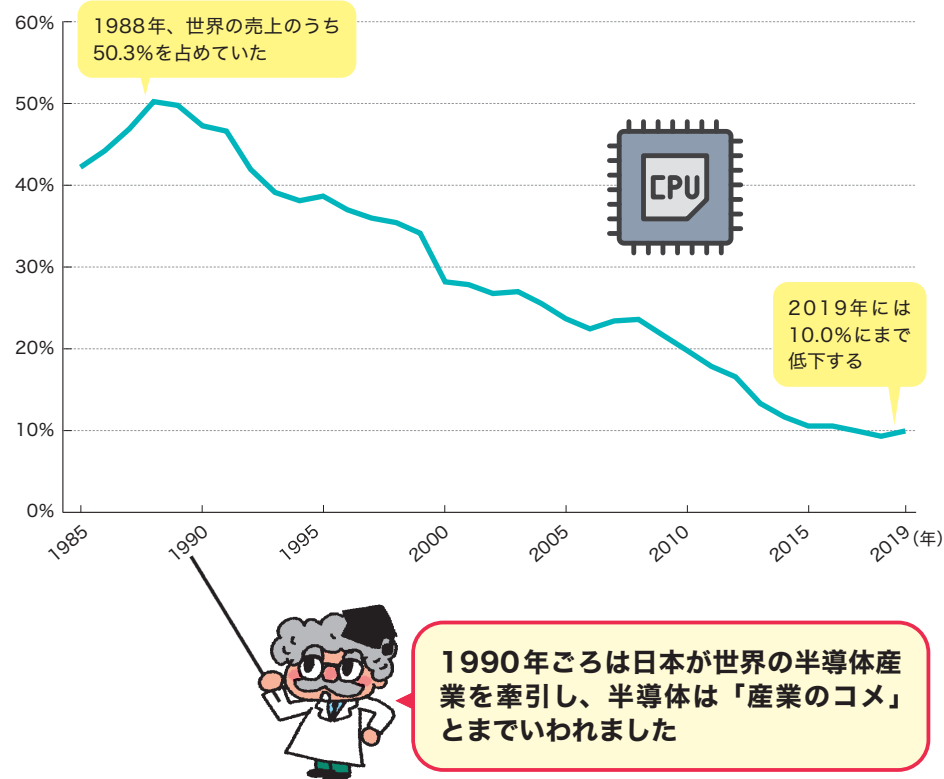
半導体を使用した商品が増えると、半導体の需要も増え、半導体産業は日本の戦後経済の発展を支える中核を担うようになります。1988年には、世界の半導体シェアの50.3%を日本が占めるほどになり、半導体は「産業のコメ」と称されました。

アメリカと日本、それぞれが自国の技術で発展

このころ、半導体産業に伴って半導体製造装置産業も盛んになりました。当時はグローバル化が進んでいなかったため、アメリカでも日本でも、それぞれ自国の半導体製造装置を使用していたのです。つまり、「半導体産業が発達している国＝半導体製造装置産業が発達している国」であったといえます。1989年の世界の半導体製造装置の売上高ランキングでは、上位5社のうち4社を日本のメーカーが占めていました。

しかし、当時の日本の半導体産業は総合電機メーカーが手がけており、自社グループ内で材料から製造まで担っていました。メリットとも思われたこの構造が、のちの国際的な競争力低下を招き、日本のシェア低下につながります。

日本の半導体売上の世界シェア



世界の半導体製造装置メーカーランキング（1989年）

順位	企業名	国	売上高（百万ドル）
1位	東京エレクトロン	日本	634
2位	ニコン	日本	587
3位	アプライド・マテリアルズ	アメリカ	523
4位	アドバンテスト	日本	399
5位	キャノン	日本	384
6位	ジェネラン・シグナル	アメリカ	354
7位	パリアン	アメリカ	335
8位	日立製作所	日本	210
9位	テラダイン	アメリカ	200
10位	ASMインターナショナル	アメリカ	187

出所：立命館経済学（第41巻・第1号）「日本半導体製造装置産業の分析」（肥塚浩）

半導体製造装置の販売額の 国別シェア

2020年の世界の半導体製造装置の販売額は712億ドルで、シェア1位は26.3%の中国でした。2位が台湾、3位が韓国、4位が日本と続き、アジアが半導体製造装置業界で存在感を増しています。

中国が26.3%で初めてシェア1位

2021年4月、SEMI（国際半導体製造装置材料協会）が2020年の世界の半導体製造装置の販売額を712億ドルと発表しました。前年の2019年は598億円であり、19%という大幅な上昇率を記録しました。

地域別では、中国が初めてシェア1位になっています。中国は2010年のシェアは9.2%だったのに対し、2020年には26.3%と大きくシェアを拡大しており、販売額も2010年の36億8000万ドルから187億2000万ドルと5倍以上に成長しています。

2位の台湾は、2020年のシェアは24.1%であり、2010年の28.2%から下げっていますが、販売額は約1.5倍に成長しています。

3位以降は、22.6%の韓国、10.6%の日本、9.2%の北米、3.7%の欧州と続きます。

日本は、順位は2010年から変わらず4位で、シェアは11.1%から10.6%に減っていますが、販売額は44億4000万ドルから75億8000万ドルと約1.7倍になりました。

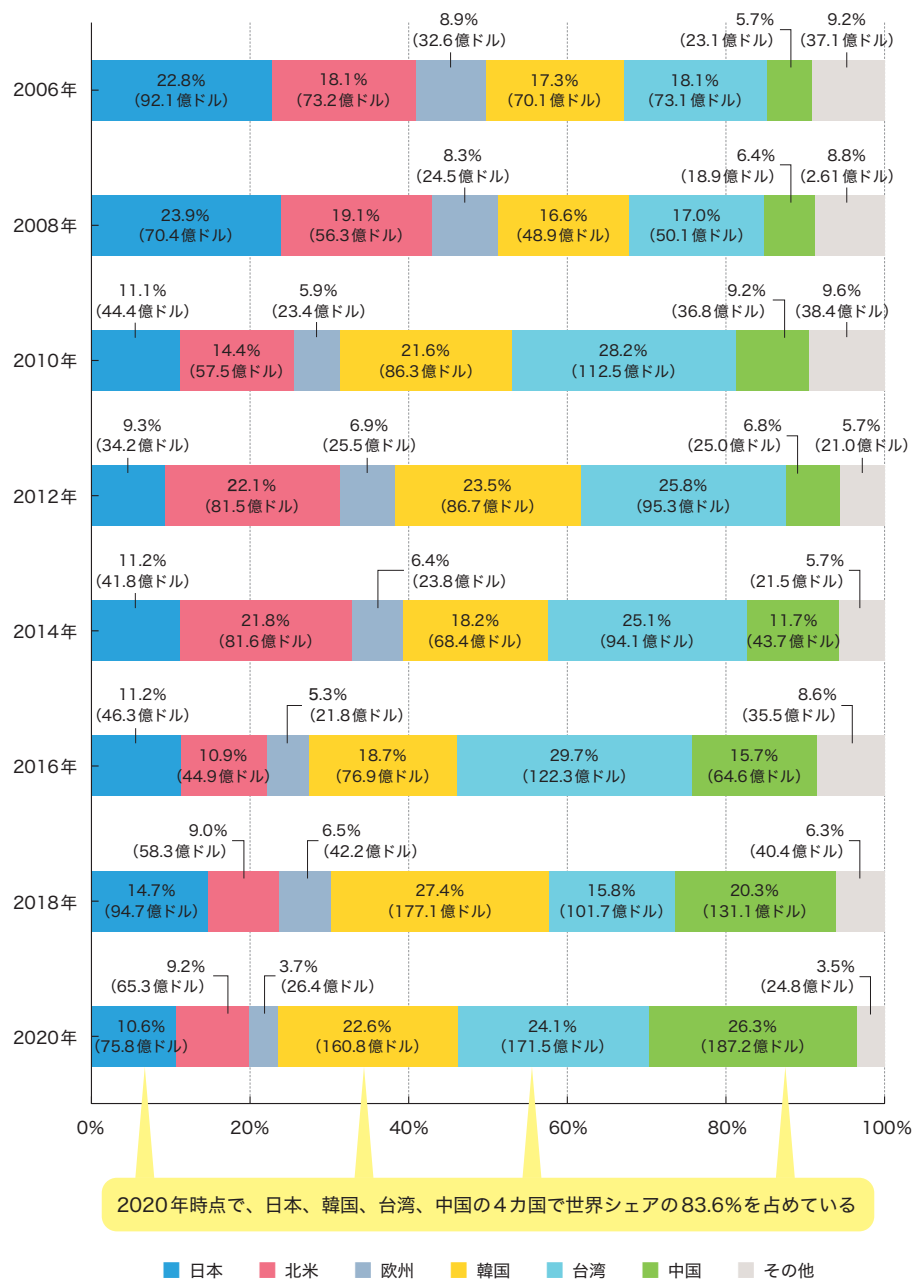
半導体製造装置業界を牽引するアジア

また、上位を占める中国、台湾、韓国、日本をアジアとしてひと塊でとらえると、2006年時点ですでに世界の63.9%を占めており、2020年には83.6%にもおよびます。

つまり、世界のほとんどの半導体製造装置がこの4カ国で消費されているということです。

右ページのグラフを見ても、半導体製造装置業界において、とくに中国、韓国、台湾の存在感が年々大きくなっていることがわかるでしょう。

半導体製造装置の販売額のシェア



出所：日本半導体製造装置協会「世界統計」

SEMI

電子機器の製造と設計のサプライチェーン全体を統合した世界的な業界団体。

アジア

アジアは半導体供給の中心地としてシェアを高めている。2021年9月15日、EUは半導体生産のアジアへの依存を引き下げるため「欧州半導体法」を作ることと表明した。

約30%の装置が日本メーカー製

半導体製造装置で存在感を示す日本

半導体製造装置における日本メーカーの存在感は強く、2020年に世界で販売された半導体製造装置のうち、約30%が日本メーカー製です。その背景には日本の半導体メーカーと半導体製造装置メーカーの関係性があります。

半導体製造装置の30%が日本メーカー製

2020年の半導体製造装置の販売額の国別シェア（16ページ参照）では、日本は10.6%に過ぎませんでしたが、これは半導体製造装置の消費シェアです。海外拠点を含む日本メーカー製の半導体製造装置のシェアは、30%前後で推移しています。

半導体産業が衰退する中で日本の製造装置メーカーが高いシェアを保っているのは、海外へ販路を拡大したことが大きな要因です。日本の大手製造装置メーカーである東京エレクトロンやアドバンテストなども売上の多くを海外企業が占めています。

独立系の製造装置メーカーが台頭する

なぜ海外への販路拡大を迫られたのかというと、日本の製造装置メーカーと半導体メーカーの間に、装置を納品しても検収後しか代金を支払わないという構造があったためです。検収とは、装置が正常に動くかチェックする作業のことで、1年以上におよぶこともありました。

日本では当初、製造装置メーカーより半導体メーカーの力が強かったため、製造装置メーカーは数億～数十億という高額な装置を納品しても、長期間、収金できませんでした。

そのうち、代金の大半を納品時に支払う海外の半導体メーカーが台頭し始めると、日本の製造装置メーカーが海外相手に販路を切り替え始めたのです。

12ページで、日本の半導体産業は総合電機メーカーが手がけていたと説明しましたが、自社グループ内で完結する構造では、海外への売上を大幅に上げられません。そうして、親会社にとられない独立系の製造装置メーカーが台頭していったのです。

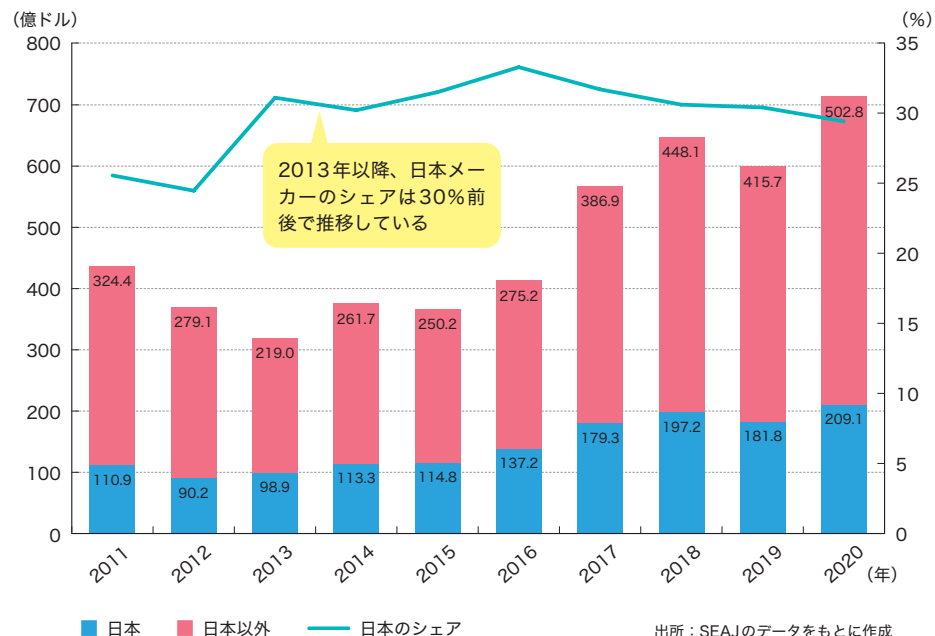
検収

精密機器である半導体は、加工速度や加工均一性、安全対策などチェックすべき検収条件が膨大にある。

独立系

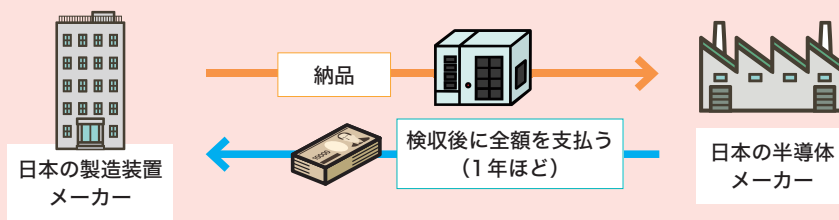
親会社を持たない独立した企業。日本の半導体企業の売上高上位を独立系の企業が占めている。

日本メーカーの半導体製造装置のシェア

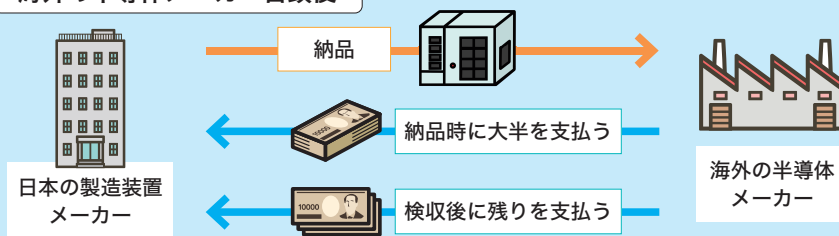


日本と海外における半導体メーカーの代金支払いの違い

海外の半導体メーカー台頭前



海外の半導体メーカー台頭後



社会インフラを担う 半導体のしくみ

単に半導体といっても、物質としての半導体、その物質を使用した部品としての半導体、また、その部品を集めた集積回路としての半導体といったように多くの意味を含みます。まずは半導体の概要としくみを紹介します。

条件によって電気の通しやすさが変わる

導体

電気を通す物質のこと。金属のほか、黒鉛や水道水なども導体の一種。銀、銅、アルミニウムなどが一般的に電子部品や配線に用いられる。

絶縁体

電気を通さない物質のこと。主な物質にゴム、セラミック、プラスチックなどがあり、電気を通す導体に対して、不導体ともいわれている。

集積回路

トランジスタや抵抗などさまざまな機能を持った電子部品を配線し、1つの部品としたもの。

物質は電気を通す**導体**と電気を通さない**絶縁体**、そしてある条件によって電気を通したり通さなかったりする半導体に分けられます。

シリコンやゲルマニウムは半導体の一種です。これらは純粋な結晶の状態ではほとんど電気を流しませんが、特定の物質を混ぜることで、電気を通す導体のような性質に変化します。

こうした条件により**電気の通しやすさが変わるという半導体の特徴を生かして、電気の流れる向きや大きさを自由に制御することができると**です。

機器の頭脳として社会インフラを担う

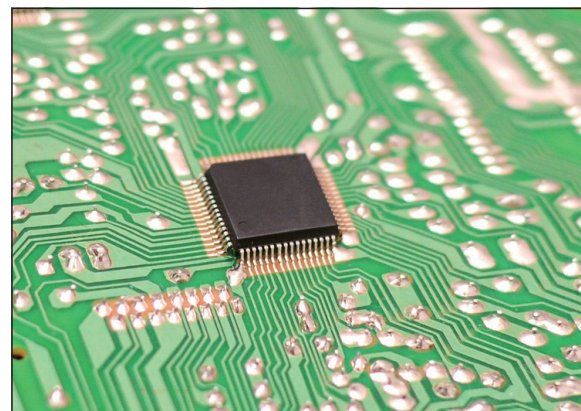
一般的に「半導体」というと、半導体物質そのもののだけでなく、トランジスタなどの半導体物質を使用した部品や、その部品を集めた**集積回路**（IC、LSI）を総称したものも指します。半導体製造装置における半導体は集積回路のことです。

半導体は、複数の電子回路の層が重なってできています。シリコンウェーハという基板に金属の薄い膜を張り、それを加工して電子回路を作ります。これをくり返して何層にも重ねることで、たくさんの回路が集まった集積回路ができるのです。

この**集積回路にどれだけ部品を載せられるか、つまり集積度をどれだけ上げられるかで、半導体の性能が決まります**。そのため、世界で半導体の超微細加工技術の向上が競われています。

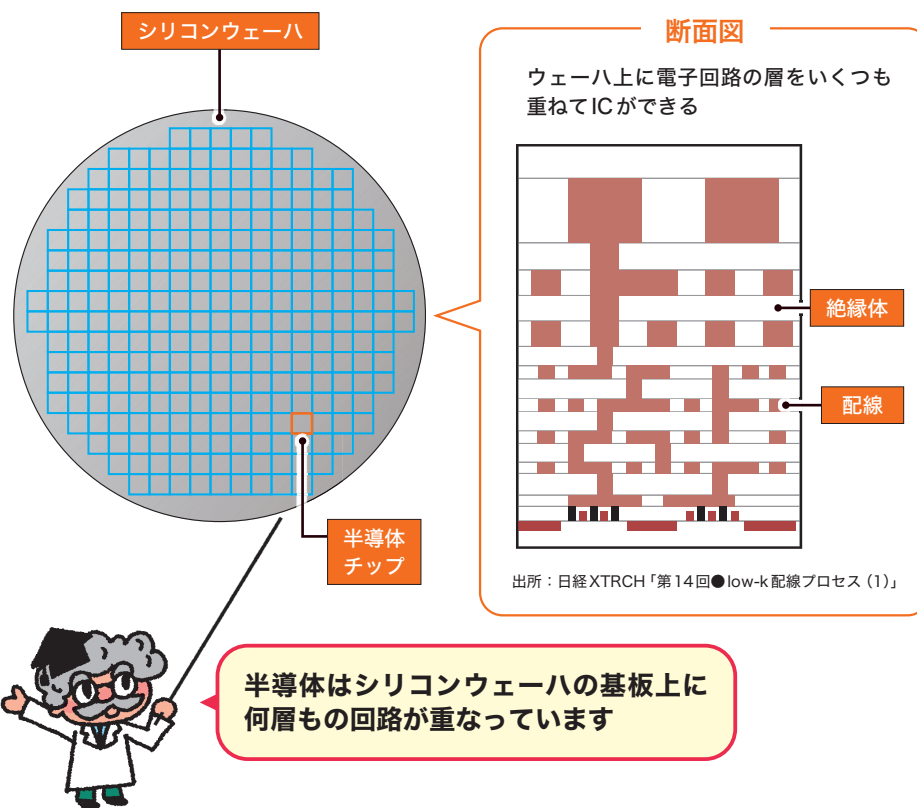
そうして作られた半導体がスマートフォンやパソコンなど、さまざまな機器の頭脳として搭載され、社会インフラの役割を担っているのです。

半導体製造装置で作られる集積回路



黒いパッケージの中に半導体チップ（集積回路）が入っている

シリコンウェーハと半導体



出所：日経XTRCH「第14回●low-k配線プロセス(1)」

チップを切り出して組み上げる

「ダイシング」「ボンディング」「モールドイング」の概要

前工程で回路が形成されたら、後工程でそれを1つずつ切り出して組み上げます。おおまかには、ダイシングで切り出し、ボンディングでリードフレームに固定し、モールドイングで樹脂のパッケージで固めます。

切り出しと組み立てを行う後工程

後工程では、前工程で形成した回路をウェーハから1つずつのチップに切り出し、**半導体パッケージ**の形状に組み立てます。目に見えない微細な作業であった前工程に比べ、後工程は目に見える機械加工的な工程が多いのが特徴です。

まずは、「ダイシング」「ボンディング」「モールドイング」の3つの工程で加工します。

電子回路を取り出して配線に組み込む

後工程で最初に行われるのがダイシングです。前工程で加工されたウェーハには、数百個の集積回路が作り込まれています。これをチップとして1つずつ切り出すのがダイシングと呼ばれる工程です。**ダイヤモンドブレード**という工具でウェーハを切り、チップごとに分離します。この半導体の最小単位をダイ (die) といいます。

次は、ダイボンディングです。ここでは、**切り出されたそれぞれのチップを、接着剤でリードフレームに固定します**。リードフレームとは、半導体チップを固定し、外部の配線との接続をする金属部品のことです。この工程はダイアタッチ、マウントとも呼ばれています。

外部からの電気をチップに通すことができるように、リードフレームの端子であるインナーリードと、チップの電極を金属ワイヤーで接合します。この配線をつなぐ工程が「ワイヤーボンディング」です。

最後に、モールドイングという工程で**チップの外側を樹脂で固め、パッケージを形成します**。

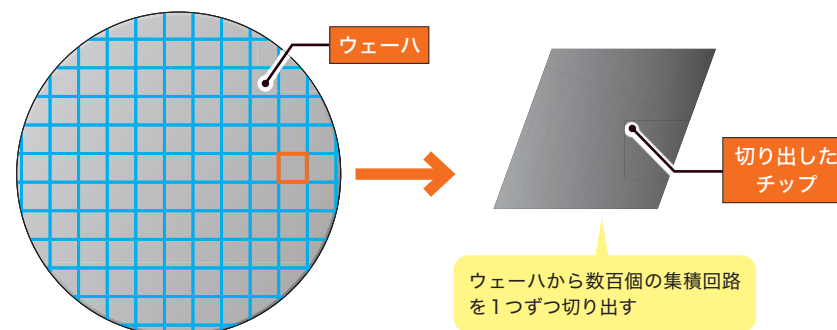
半導体パッケージ

チップを外部から保護し、また電気信号の伝達を行うための外部端子からなるもの。

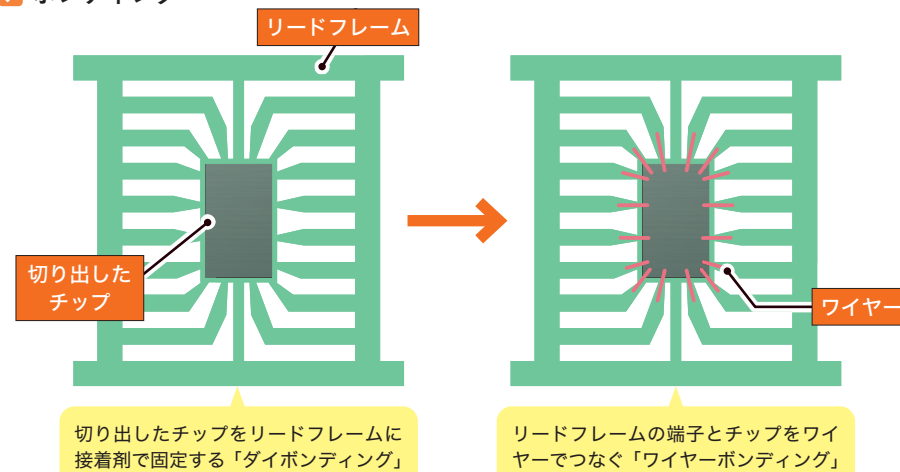
ダイヤモンドブレード

ダイヤモンドの硬い特徴を生かし、さまざまな材質の切断・研磨などに使用される工具のこと。

ダイシング



ボンディング



モールドイング

