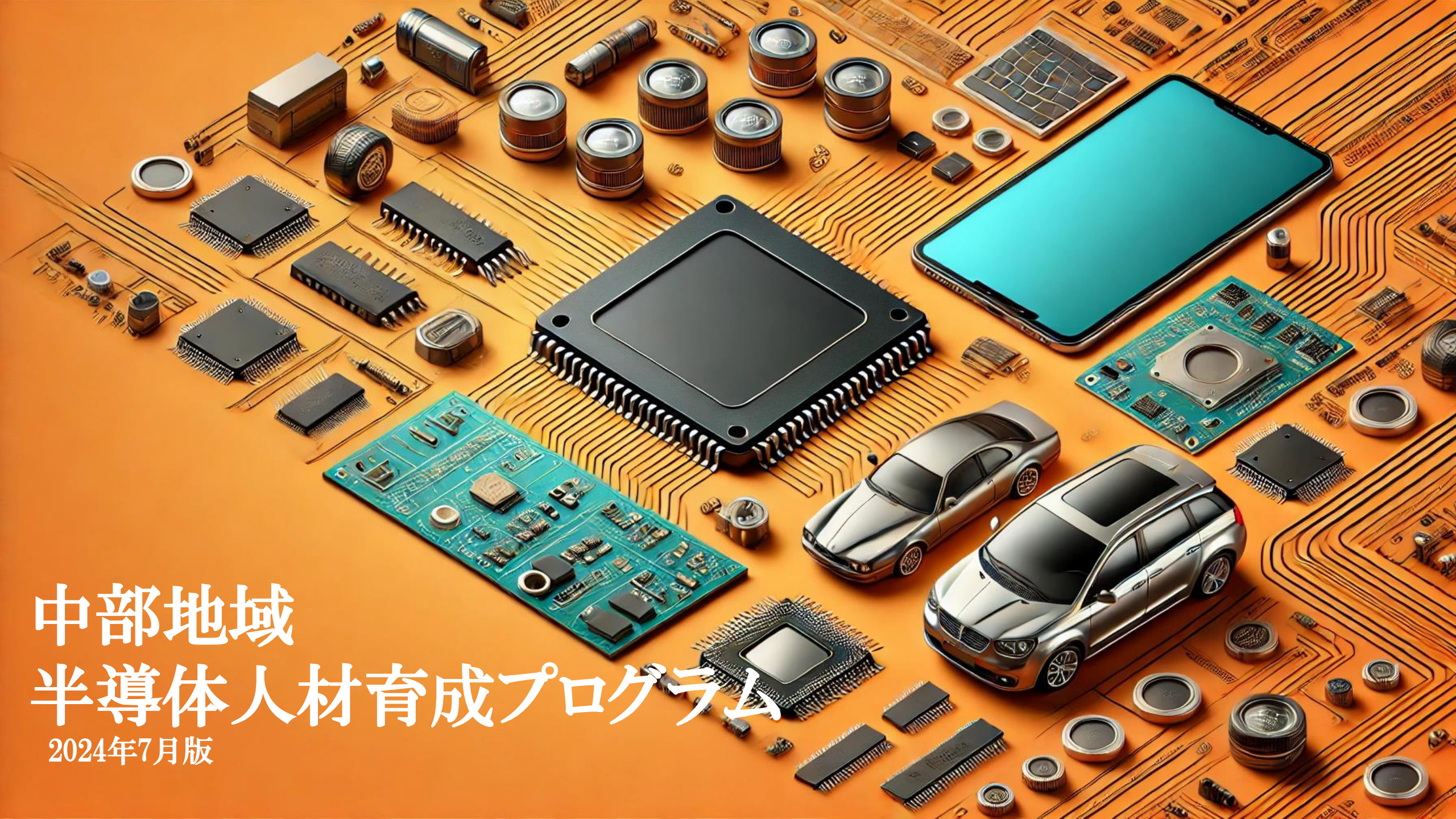


中部地域
半導体人材育成プログラム

2024年7月版

本プログラムの目的・構成

作成の目的	• 理工系学部学科に所属する学生を対象として、半導体に対する興味・関心を向上させるとともに、半導体が搭載される製品の実用例や半導体の役割・重要性・可能性を理解し、半導体の開発や製造などの各工程に関わる技術・知識が、教育機関で学ぶ内容と、どのように繋がっているかを体系的に学ぶことができるようにすることを目的として本プログラムを作成しています。 • 主な活用用途として学生の自己学習用としての活用を想定しております。 • 本資料は、大学低年次（1～2年生）を主な活用主体として作成しております。

		プログラムを通じて目指す姿
構成	**位置づけ：半導体について知ってもらう** ＜第1章＞半導体とは	• 半導体とはそもそも何か、身の回りのどこで、どのように使われているものかを認知してもらう。
	位置づけ：半導体について興味・関心を持ってもらう ＜第2章＞半導体の重要性と半導体を取り巻く環境	• なぜ今半導体が注目されているのかを知り、世界における情勢や、その中での日本の取組（過去の歴史も含め）を学ぶことで、半導体の重要性、市場規模・成長性、グローバルでの活躍の場 等を知ってもらい、半導体業界に対する興味・関心を持ってもらう。
	位置づけ：半導体について理解を深めてもらう ＜第3章＞半導体の仕組み ＜第4章＞半導体の設計方法 ＜第5章＞半導体の製造方法（簡易版・詳細版） ＜第6章＞半導体の製造ライン	• 半導体の仕組みや原理、使われる材料といった基礎的な内容から、半導体の製造工程、設計技術、製造ラインの構築・メンテナンスに係る技術・知識といった詳細な内容に至るまで幅広く理解を深めてもらう。 • また、各項目の説明を通じて、半導体産業と学問との繋がりについても認知してもらう。

本プログラムの目次

- 第1章：半導体とは
  1. そもそも半導体とは・・・P.5
  2. 身の回りで使われる半導体・・・P.9
- 第2章：半導体の重要性と半導体を取り巻く環境
  1. なぜ、今半導体が求められているのか・・・P.14
  2. 半導体産業の構造・・・P.18
  3. 日本における半導体産業の動向・・・P.22
- 第3章：半導体の仕組み
  1. 半導体の仕組み・・・P.32
- 第4章：半導体の設計方法
  1. 半導体の設計方法・・・P.39
- 第5章：半導体の製造方法
  1. 半導体製造工程の概観・・・P.43
  2. マスク製造工程・・・P.45
  3. ウエハ加工工程・・・P.48
  4. 前工程、ウエハ検査工程・・・P.55
  5. 後工程・・・P.75
- 第6章：半導体の製造ライン
  1. 製造ラインの構築・・・P.86
  2. 製造ラインの調整・メンテナンス・・・P.94
- コラム：半導体業界での働き方
  1. 半導体業界の業務・・・P.98
  2. 半導体業界の給与・採用・・・P.99
- 参考動画リスト・・・P.101

第1章

半導体とは

1. そもそも半導体とは：半導体とは何か

Q	そもそも半導体とは？
A	➢半導体とは、電気をよく通す「導体」と、電気をほとんど通さない「絶縁体」との中間的な性質を持った物質、あるいは材料に対する名称。 ➢そして、圧力や加速度、温度、光などの外部から加えられる刺激（作用）、あるいは微量な不純物の添加など、条件によって絶縁体に近づいたり、導体に近づいたりと性質が大きく変化する特性を持っている。 ➡これらの特性を用いた電子部品のことを「**半導体デバイス**」という

← 電気をよく通す　　電気をほとんど通さない →

	導体（Conductor）	半導体（Semiconductor）	絶縁体（Insulator）
物質（材料）	• 金（Au） • 銀（Ag） • 銅（Cu） • アルミニウム（Al） ・ ・ ・ ・ ・	• 元素半導体 ➢シリコン（Si） ➢ゲルマニウム（Ge） ➢セレン（Se） ・ ・ • 化合物半導体 ➢GaAs ➢GaN ➢InP ・ ・ • 酸化物半導体 ➢ZnO ➢SnO_2 ➢ITO ・ ・	• 天然ゴム • ガラス • 雲母（うんも） • セラミックス ・ ・ ・ ・ ・

1. そもそも半導体とは：半導体の材料

半導体は構成される元素の数によって、単元素半導体、化合物半導体に分かれ、その用途や求める性能に応じて使い分けられる。

	特徴	代表的な物質/活用例
単元素半導体 単一の元素で構成される半導体	• 地殻中に豊富にあり安価である • 半導体デバイスには必要な「絶縁膜」である酸化膜が容易に得られる • 電気的特性の変化が容易である • 微細加工技術が進んでおり、集積回路の製造が可能である ※ 最も活用されているシリコンについて特徴を記載	Si、Ge、C
化合物半導体 2つ以上の元素で構成される半導体	• 単元素半導体では作成できない高機能な素子を作ることができる(高速演算・信号処理が可能である、高電圧・高電流下での耐性がある、電流を光に変えることができる等) • 基板の結晶欠陥が多く割れやすく、結晶にする時のウエハの大型化が難しい • 材料がシリコンに比べて高価であり、原材料の入手過程や結晶精製過程のコストが高い	GaAs系：携帯電話や衛星通信　等で活用 InP系：光ファイバー通信で　等で活用 GaN系：交通信号の緑色LED、ブルーレイディスクの青色レーザ　等で活用 SiC系：ハイブリッド車　等で活用

出典:NIHON POLYMER HP、東芝デバイス＆ストレージHP　住友電工HP　Semi journal「半導体の材料：シリコンから化合物まで」参照

1. そもそも半導体とは：半導体デバイスの種類と役割

人間で言えば・・・

目
▼
センサー

カメラ

スマートフォン

光を電気信号に変換する

脳（処理・制御）
▼
ロジック半導体

高度な計算・
情報を処理する

自動運転

データセンター

5G

脳（記憶）
▼
メモリー

情報を記憶する

PC

USB

筋肉
▼
パワー半導体

電流・電圧を制御し
機器を動かす

電気自動車

エアコン

ソーラー発電機

触覚など
▼
アナログ半導体

物理現象を
デジタル情報に置き換える

音響機器

エンジン・ブレーキ

1. そもそも半導体とは：半導体デバイスの種類と役割

		機能	半導体デバイスの製品群	搭載されている最終製品群
集積回路（IC）	ロジック	• 論理演算機能を有する集積回路。**人間における頭脳としての役割**を担う。	• GPU（画像処理半導体） • CPU（中央演算処理装置）　等	• 自動運転 • 5G　等
	マイコン	• コンピュータのCPUと周辺デバイスを1つの半導体チップに集積した回路。**小さなコンピュータの役割**を担う。	• マイクロコントローラユニット（MCU） • エンジンコントロールユニット（ECU）等	• PC • スマートフォン　等
	アナログ	• **アナログ信号をデジタル信号に変換**したり、**デジタル信号をアナログ信号に変換**する等の機能を持つ集積回路。	• 標準リニアIC（オペアンプ 等） • 専用アナログIC	• 音響機器 • エンジン・ブレーキ 等
	メモリ	• 情報を記憶し、必要に応じてそこから情報を引き出すための**記憶としての役割**を担う集積回路。	• 揮発性メモリ（DRAM、SRAM 等） • 不揮発性メモリ（フラッシュ 等）	• PC • USB　等
ディスクリート		• 電流を一方向に流す「ダイオード」や、電流をコントロールする「トランジスタ」のように、**電気信号の整流・増幅・貯蔵といった単独の機能を持つ**半導体素子。	• ダイオード • トランジスタ • サイリスタ • モジュール	• PC • スマートフォン • 家電製品　等
オプトエレクトロニクス（光デバイス）		• **光を電気信号に変換**、あるいは**電気信号を光に変換**する役割を持つ半導体素子。	• 発光デバイス（LED 等） • 受光デバイス（フォトダイオード 等） • 光複合デバイス（フォトカプラ 等） • 光通信用デバイス	• カメラ • 医療機器　等
センサ		• 温度や圧力、加速度、磁気などを検知し、物理的、化学的な**現象を電気信号やデータに変換**する役割を持つ。	• MEMS • イメージセンサ • 加速度センサ • 磁気センサ　　等	• スマートフォン • カメラ　等

2. 身の回りで使われる半導体：携帯電話

最新のスマートフォンには、約160億個の半導体（トランジスタ含む）が使われている。

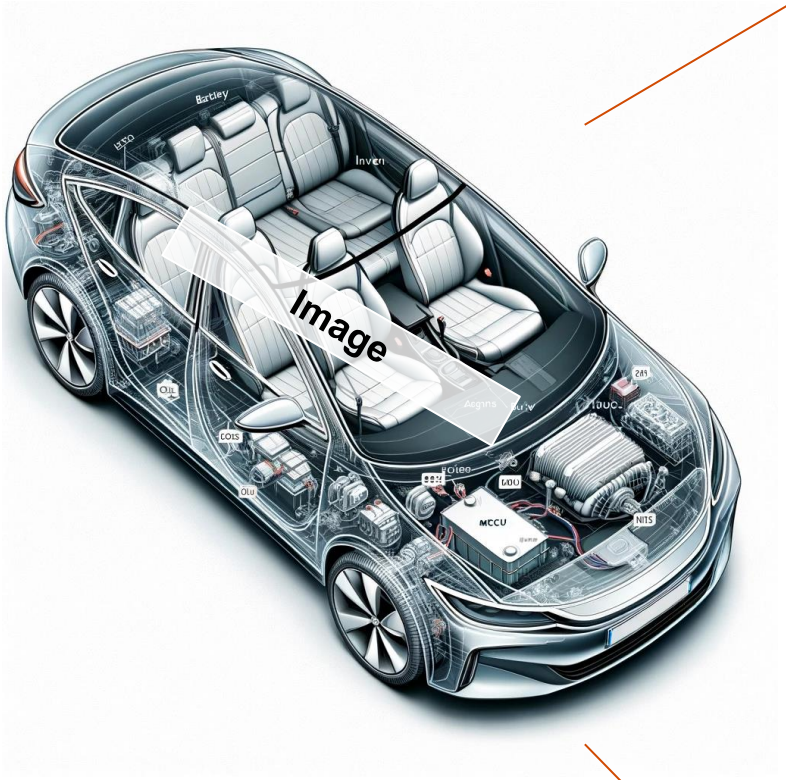
※中部地域のデバイスメーカーを赤字で記載

- CPU（Central Processing Unit）
  - ➢ コンピュータの心臓部となるICで、各種の演算処理や制御等を行う。
- GPU（Graphics Processing Unit）
  - ➢ 3D画像をリアルに描画する際に必要となる、高速計算処理に特化した処理装装置。「画像処理専門の頭脳」としての役割を持つ。
- メモリ（DRAM、SRAM、フラッシュ）：キオクシア、ウエスタンデジタル
  - ➢ 情報を記憶し、必要に応じて情報を取り出して利用するための装置。
- イメージセンサ
  - ➢ レンズから入射された光信号を電気信号に変換する機能を持ち、「電子の目」と呼ばれることもある。
- パワーIC：東芝デバイス&ストレージ、タワーパートナーズセミコンダクター
  - ➢ スマートフォンやノートパソコン等、小型でバッテリー動作をするエレクトロニクス機器に給電するための装置。
- RFIC（Radio Frequency Integrated Circuit）：タワーパートナーズセミコンダクター
  - ➢ 電波を送受信するチップのこと。携帯電話、Wi-Fi機器、無線ルーター、無線基地局、電話機、衛星トランシーバー、マイクロ波機器などに搭載されている。
- LCD（Liquid Crystal Display）駆動用IC
  - ➢ LCD（液晶表示装置）の各画素に対応したトランジスタ。液晶画面の表示動作、色調などをコントロールする。
- MEMS（Micro Electro Mechanical Systems　センサ、マイク、スピーカー）
  - ➢ 半導体のシリコン基板・ガラス基板・有機材料などに、機械要素部品のセンサ・アクチュエータ・電子回路などをひとまとめにしたミクロンレベル構造を持つデバイスを指す。

2. 身の回りで使われる半導体：自動車

近年の自動車は「走る半導体」とも言われるほど、多数の半導体が搭載されている（ECUの平均搭載個数約30個/台（2021年時点））。

※中部地域のデバイスメーカーを赤字で記載



- MCU（Micro Control Unit）
  - ➢ エンジンやブレーキ等の走行制御、ダッシュボードや電動ミラー等の車体制御、カーオーディオやナビゲーション等の情報系を制御する役割を持つ。
- ECU（Electronic Control Unit）：デンソー
  - ➢ MCUを中核として、様々な部品が組み合わされて実装される電子制御装置。走行制御や車体制御、走行安全機能等、それぞれに最適化された形でECUが配置される。

- 車載用メモリ：キオクシア、ウエスタンデジタル
  - ➢ 車内で取得したデータや情報を記憶し、必要に応じて情報を取り出して利用するための装置。

- 車載用イメージセンサ：タワーパートナーズセミコンダクター
  - ➢ カメラのレンズから入射された光信号を電気信号に変換する機能を持ち、「電子の目」と呼ばれることもある。

- MEMSセンサ（Micro Electro Mechanical Systems）：デンソー、ユナイテッド・セミコンダクター・ジャパン
  - ➢ 半導体のシリコン基板・ガラス基板・有機材料などに、機械要素部品のセンサ・アクチュエータ・電子回路などをひとまとめにしたミクロンレベル構造を持つデバイスを指す。
  - ➢ 走行時の圧力や加速度、回転、温度等を検知する。

- パワー半導体：デンソー、ユナイテッド・セミコンダクター・ジャパン、東芝デバイス&ストレージ
  - ➢ 電力系の制御やパワーウィンドウ、ワイパー、ウィンカー等の小型モータを駆動させるための装置。
  - ➢ EV（電気自動車）においては、モータ制御や、回生ブレーキ充電等がパワー半導体によって行われている。

2. 身の回りで使われる半導体：ゲーム機

ゲーム機においても、「先端半導体の宝庫」と呼ばれるほど、最先端の各種半導体が搭載されている。

※中部地域のデバイスメーカーを赤字で記載

- SoC（System on Chip）
  - 1つのチップにCPUとGPUが搭載されたもの。
  - SoCの機能によって、ゲームの中の美しいグラフィックや、キャラクターの動き、豪華なサウンド等を実現することができる。
- LSI（eDRAM）：ユナイテッド・セミコンダクター・ジャパン
  - DRAM（メモリ）とロジックチップを搭載したもの。本技術によって、搭載メモリ容量の向上、回路動作の高速化に成功し、高機能ゲーム機への搭載が可能となり、大容量の画像データを高速で処理できるようになった。
- メモリ（DRAM、SRAM、フラッシュ）：キオクシア、ウエスタンデジタル
  - 情報を記憶し、必要に応じて情報を取り出して利用するための装置。
- MEMSモーションセンサ
  - 加速度センサとジャイロセンサを組み合わせたもの。
  - 本体の傾きによって画面が縦横に回転したり、コントローラが体の動きに反応するのもモーションセンサの働きによるもの。
- タッチスクリーン制御IC
  - 画面上でユーザーが行う操作を、デバイスが読み取れる信号に変換する。
- NFC（Near Field Communication）制御IC
  - NFCとは近距離無線通信技術の国際標準規格のことであり、NFC制御ICによって、NFCタグの検出等を行い、デバイス間で近距離ワイヤレス通信を可能にする。
- PMIC（Power Management IC、電源管理IC）
  - システムに必要なほとんど全ての電源、及びその電源の制御回路を集約することでシステム全体の電源管理を行っている。

第2章

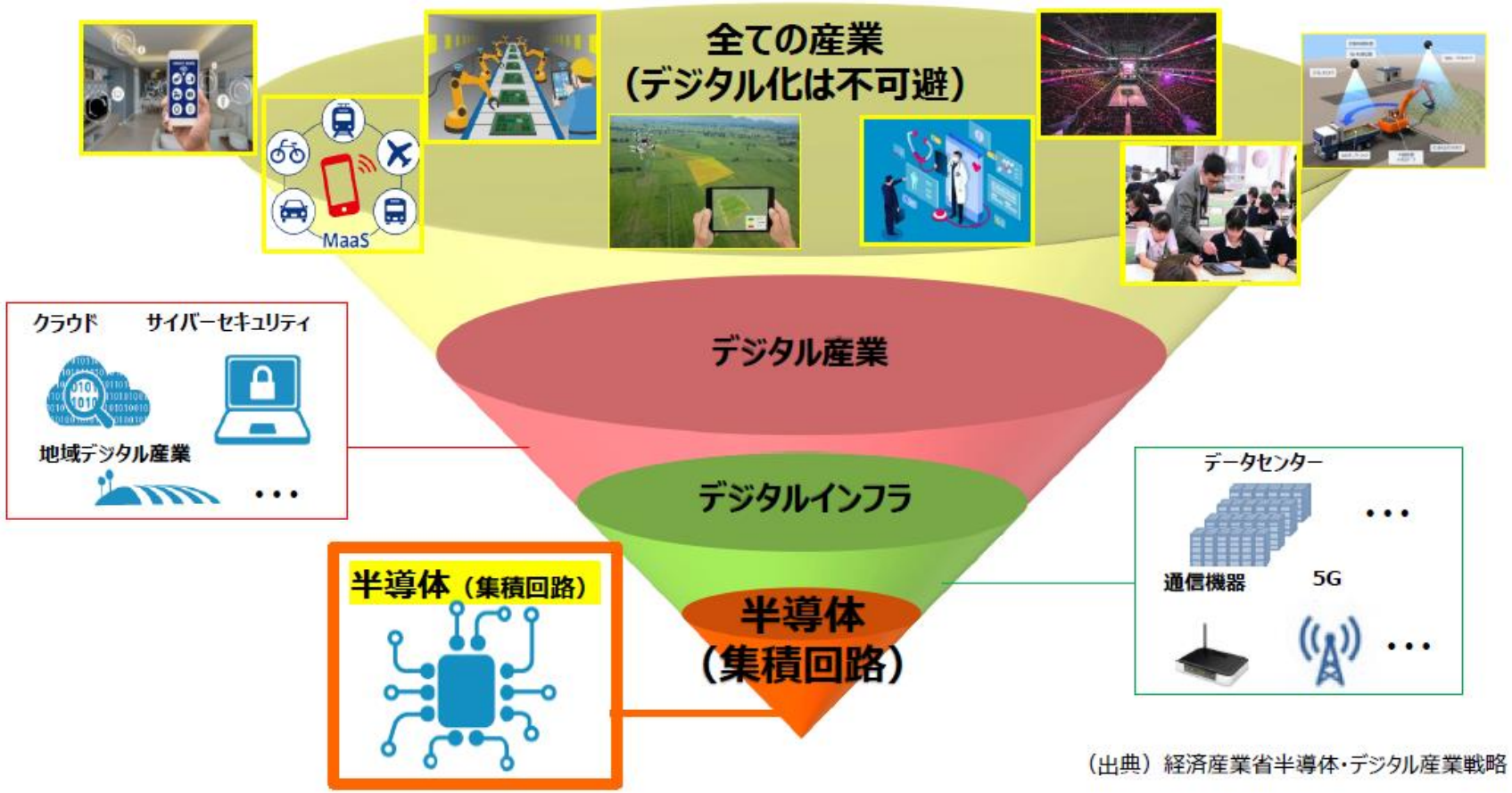
半導体の重要性と半導体を取り巻く環境

第2章

半導体の重要性と半導体を取り巻く環境
①なぜ、今半導体が求められているのか

1. なぜ、今半導体が求められているのか：産業のコメと言われる理由

半導体は、5G・ビッグデータ・AI・IoT・自動運転・ロボティクス・スマートシティ・DX等のデジタル社会を支える重要基盤であり、人々の生活を様々なシーンで便利で豊かにする重要な技術である。

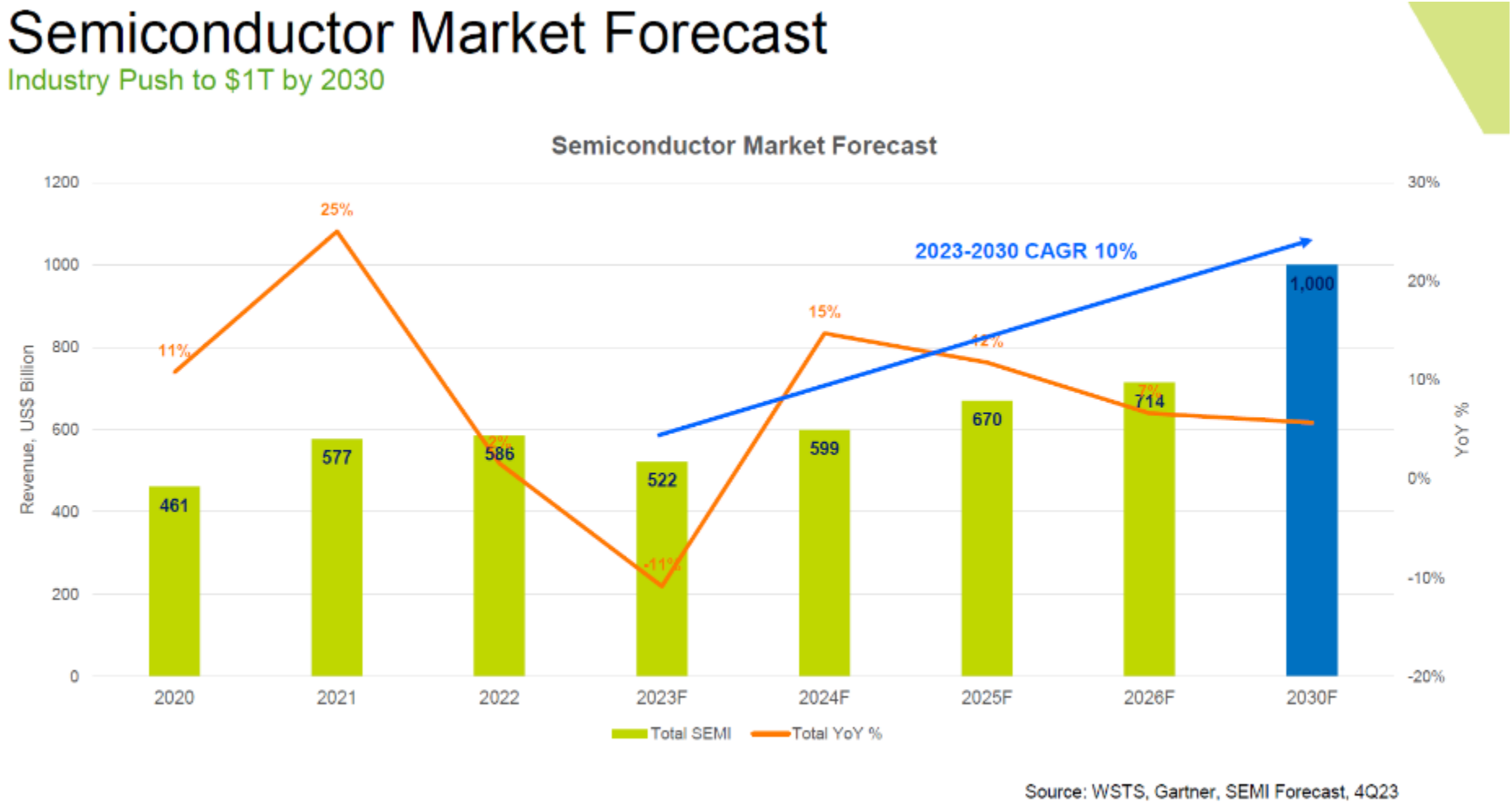


（出典）経済産業省半導体・デジタル産業戦略

出典：経済産業省 半導体・デジタル産業戦略

1. なぜ、今半導体が求められているのか：今後の半導体市場

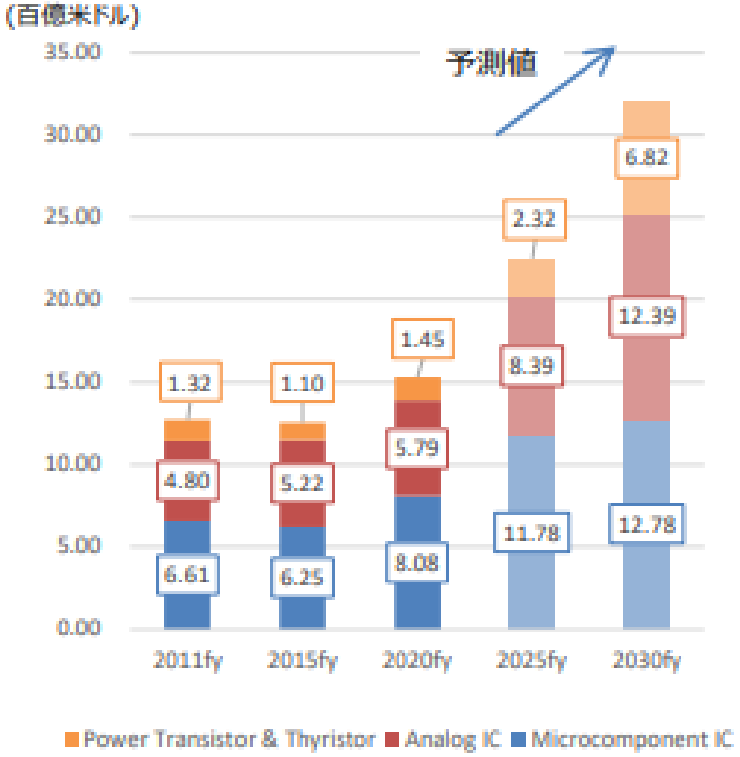
世界の半導体市場は2030年に1兆ドル規模にまで拡大すると予測されている。



出典：半導体市場の市場規模推移　出所：SEMIジャパン（2023年12月12日・プレス向け説明会より）　https://eetimes.itmedia.co.jp/ee/articles/2401/16/news094.html

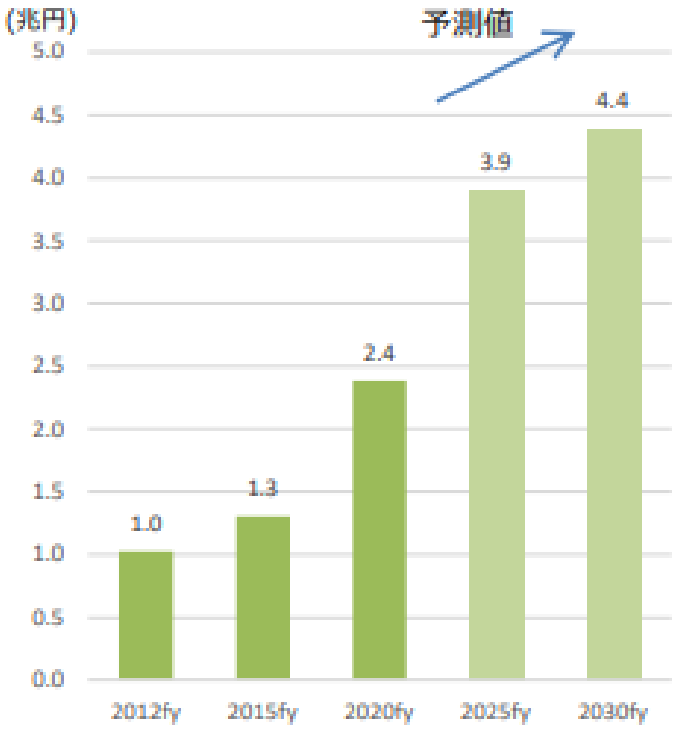
1. なぜ、今半導体が求められているのか：今後の半導体市場

世界の半導体需要について、レガシー半導体（マイコン、アナログ半導体、パワー半導体）の出荷、日本製の半導体製造装置の販売高も増加傾向にあり、前年度比成長率もプラスで推移していく見通し。シリコンウエハ消費面積需要も、汎用品向けの堅調な伸びに加え、先端品向けの需要増加等の影響でプラス成長していく見通し。



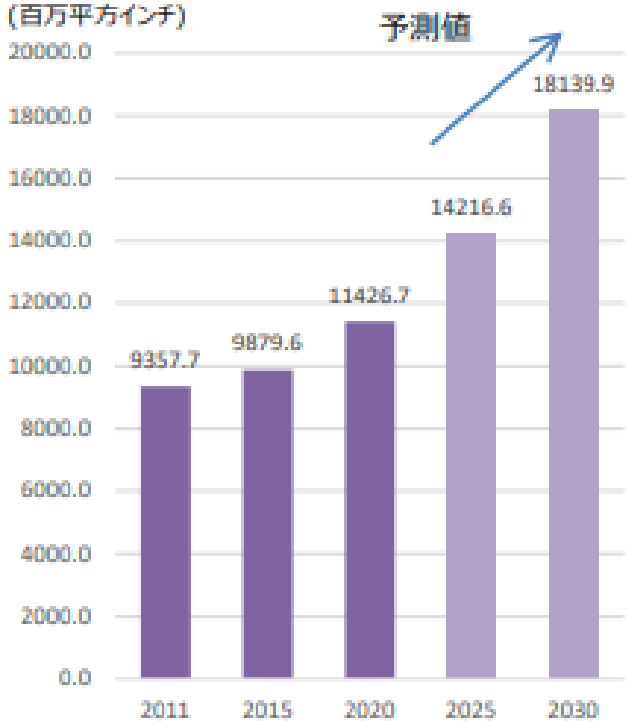
レガシー半導体の出荷動向

※omdiaのデータを基に経産省作成



日本製半導体製造装置の販売高動向（国内外問わず）

※SEAJのデータを基に経産省作成



シリコンウエハ消費面積需要

※omdiaのデータを基に経産省作成

出典：経済産業省 第5回 半導体・デジタル産業戦略検討会議

第2章

半導体の重要性と半導体を取り巻く環境
②半導体産業の構造

2. 半導体産業の構造

半導体デバイスができるまでの製造工程は、一般に設計、前工程、後工程の3工程に分類され、デバイスメーカーにおいては、設計から販売まで行う垂直統合型のビジネスモデルと、工程ごとに特化した領域の事業を行う水平分業型のビジネスモデルがある。

バリューチェーン		設計	前工程	後工程	販売
デバイスメーカー	垂直統合	**IDM（Integrated Device Manufacturer）** ⇒設計から販売まで一貫して行う。IDMが部分的にファウンドリやOSATを利用することもあれば、一部受託製造を行うこともある。 企業例：インテル、サムスン、キオクシア 等			
	水平分業	**ファブレス** ⇒工場を持たず開発・設計に特化 企業例：クアルコム、エヌビディア等	**ファウンドリ** ⇒前工程に特化し、顧客の設計データに基づき受託生産を行う 企業例：TSMC、USJC等	**OSAT（Outsourced Semiconductor Assembly and Test）** ⇒後工程に特化し、顧客の設計データに基づき受託生産を行う 企業例：ASE、アムコー・テクノロジー等	
関連業界		**EDAベンダー**	**製造装置メーカー** ⇒各製造工程に特化した装置を開発・製造。工程ごとに代表的なメーカーがある。 **素材メーカー** ⇒ウエハや、フォトレジスト、ガス等を開発・製造。材料ごとに代表的なメーカーがある。		**半導体商社**

2. 半導体産業の構造

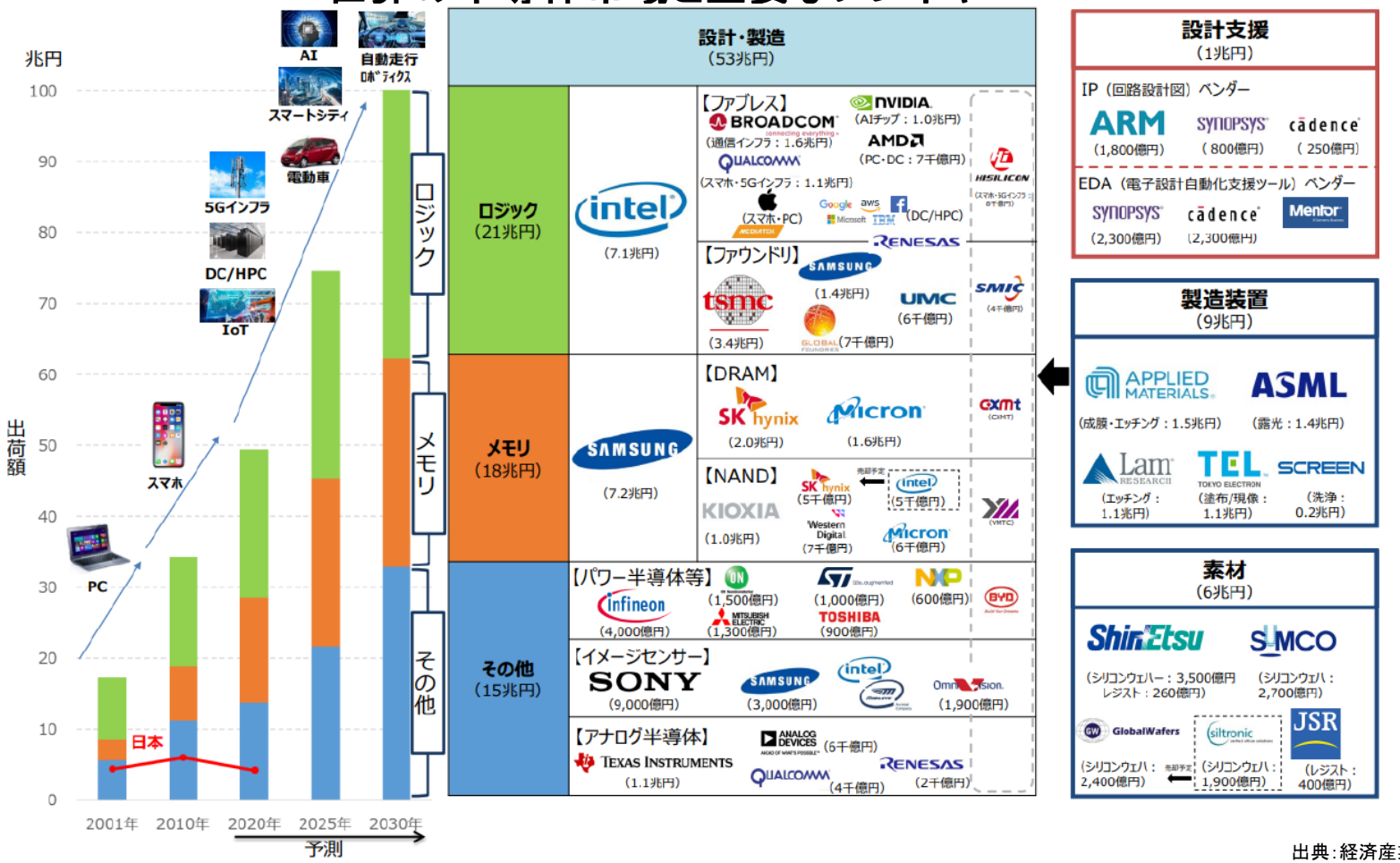
半導体産業における各事業領域・業界において、以下のような企業が中部地域に事業所や工場を有している。

バリューチェーン		設計	前工程	後工程	販売
デバイスメーカー	垂直統合	IDM（Integrated Device Manufacturer） ⇒設計から販売まで一貫して行う。他社からの受託製造を行うこともある。 企業例：インテル、サムスン、キオクシア 等 **ウエスタンデジタル、キオクシア、デンソー、東芝デバイス&ストレージ**			
	水平分業	ファブレス ⇒工場を持たず開発・設計に特化 企業例：クアルコム、エヌビディア等	ファウンドリ ⇒前工程に特化し、顧客の設計データに基づき受託生産を行う 企業例：TSMC、UMC等 **タワーパートナーズセミコンダクター、ユナイテッド・セミコンダクター・ジャパン**	OSAT（Outsourced Semiconductor Assembly and Test） ⇒後工程に特化し、顧客の設計データに基づき受託生産を行う 企業例：ASE、アムコー・テクノロジー等	
関連業界		EDAベンダー	製造装置メーカー ⇒各製造工程に特化した装置メーカーがある。中部に代表的なメーカーがある。 **CKD、FUJI、シンフォニアテクノロジー、ブラザー工業、村田機械、ヤマザキマザック 等** 素材メーカー ⇒ウエハや、フォトレジスト、ガスなど素材ごとに代表的なメーカーがある。 **JSR、イビデン、ジャパンマテリアル、フジミインコーポレーテッド 、三菱ガス化学 等**		半導体商社

2. 半導体産業の構造：世界における半導体のプレーヤー

ロジック、メモリ、パワー半導体等の最大手はいずれも米台韓等の外国企業だが、製造装置や素材等については、日本企業が高いシェアを占めている。

世界の半導体市場と主要なプレイヤー



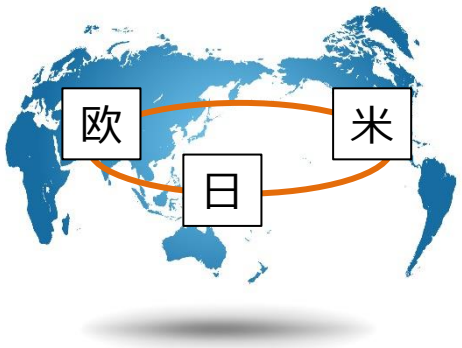
出典：経済産業省 第1回 半導体・デジタル産業戦略検討会議

第2章

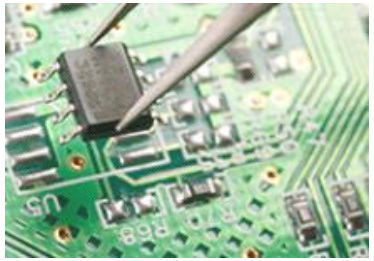
半導体の重要性と半導体を取り巻く環境
③日本における半導体産業の動向

3. 日本における半導体産業の動向：グローバルな構造変化

【20世紀】



日・米・欧で寡占



電気製品の一部品

(1)経済安全保障の環境変化

- 米中技術覇権の対立により、半導体の確保は経済安全保障と直結。

(2)アフターコロナのデジタル革命

- ありとあらゆる社会がデジタル化し、半導体はデジタル化の帰趨を握る基幹製品。

(3)エネルギー・環境制約の克服

- 2050年カーボンニュートラルを目指す上で、半導体の省エネ化・グリーン化は必須。

(4)レジリエンスの強靭化

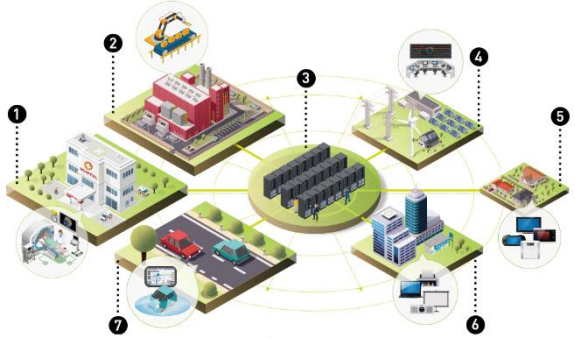
- 半導体不足による最終製品の生産停止など、あらゆる産業へのインパクト（サプライチェーンリスク）が甚大。

(5)日本企業の凋落

- 半導体世界市場の拡大にもかかわらず、過去30年間で日本の存在感は低下。

【21世紀】

台湾・韓国台頭、米中対立
⇒　半導体は国際戦略物資へ

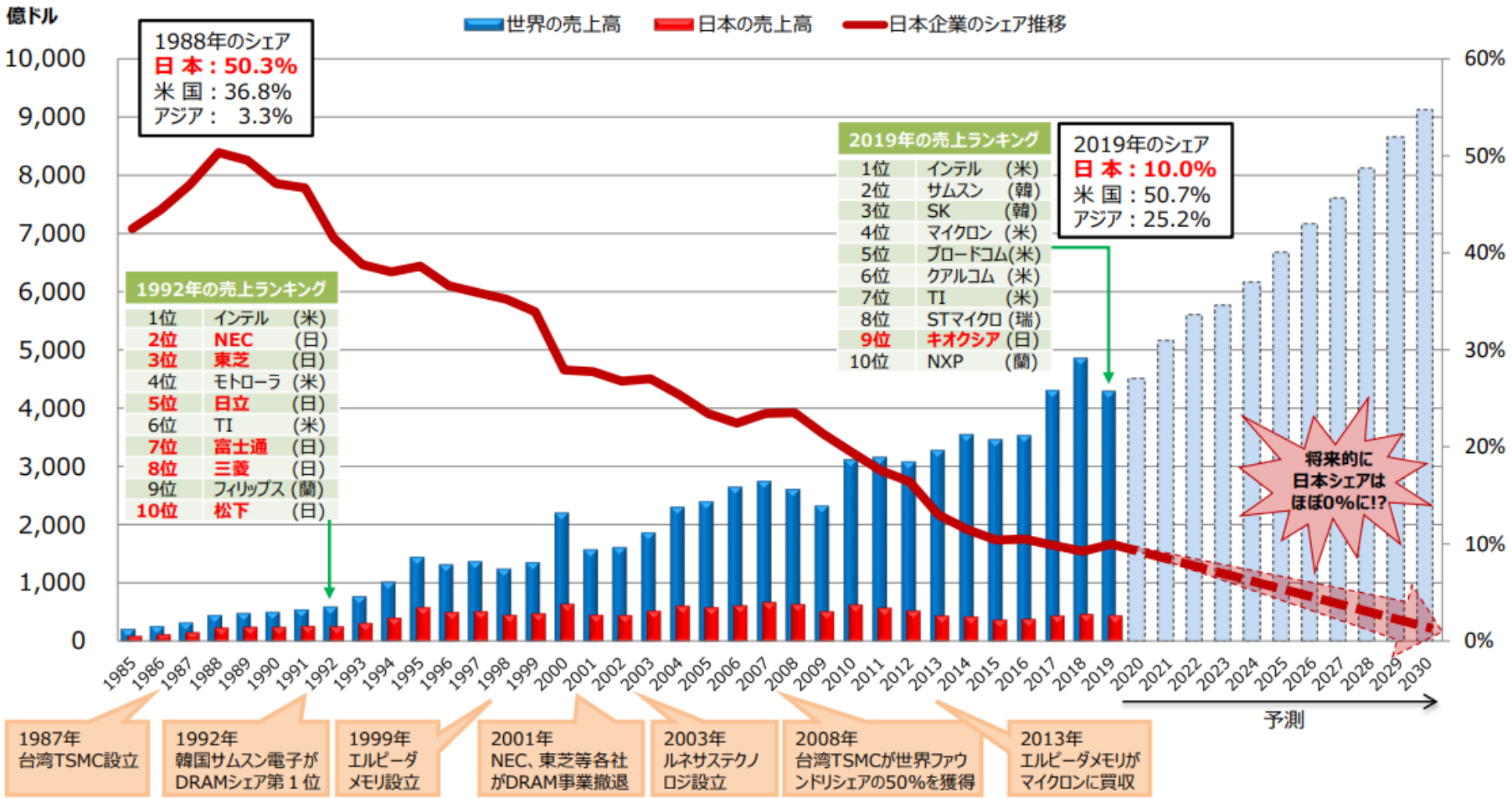


デジタル化・グリーン化の進展
⇒　半導体がセキュリティ・脱炭素のキーパーツに

出典：東京エレクトロン デバイス(株) HP

3. 日本における半導体産業の動向：日本の半導体産業の現状

日本の半導体産業は、かつて過半のシェアを占めていたが、1990年代以降、徐々にその地位は低下。

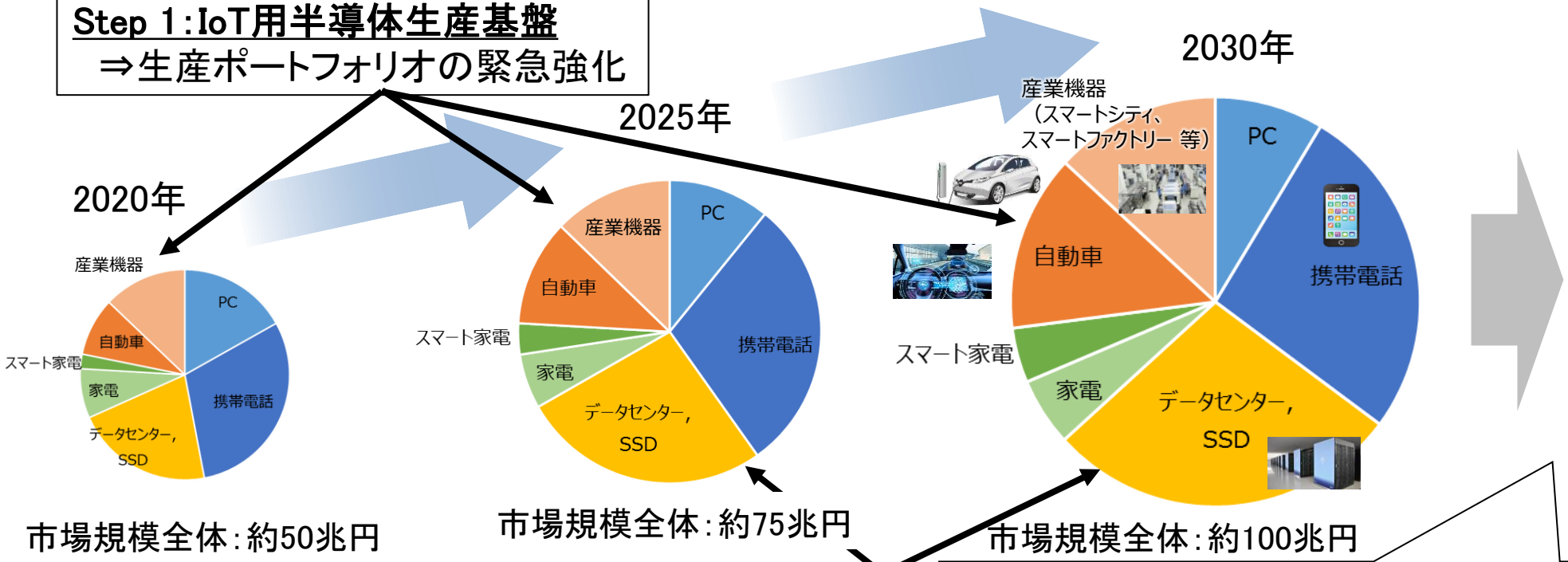


出典：経済産業省 半導体・デジタル産業戦略の方向性

3. 日本における半導体産業の動向：我が国の半導体産業復活の基本戦略

政府としては、IoT用半導体の製造拠点の整備への支援（Step1）、日米連携による次世代半導体の産業基盤の確立（Step2）、グローバル連携による将来技術基盤の社会実装に向けた支援（Step3）等を進めている。

Step 1：IoT用半導体生産基盤
⇒生産ポートフォリオの緊急強化



Step 2：日米連携強化
⇒日米連携プロジェクトで次世代半導体技術の習得・国内での確立

Step 3：グローバル連携
⇒グローバルな連携強化による光電融合技術など将来技術の実現・実装時期の前倒し

出典：経済産業省 半導体・デジタル産業戦略

3. 日本における半導体産業の動向：国内における近年の取組

次世代半導体の量産製造拠点を目指すため、国内トップの技術者が集結し、国内主要企業からの賛同を得て、Rapidus(株)を設立。

2022年度（支援上限：700億円 ※1）

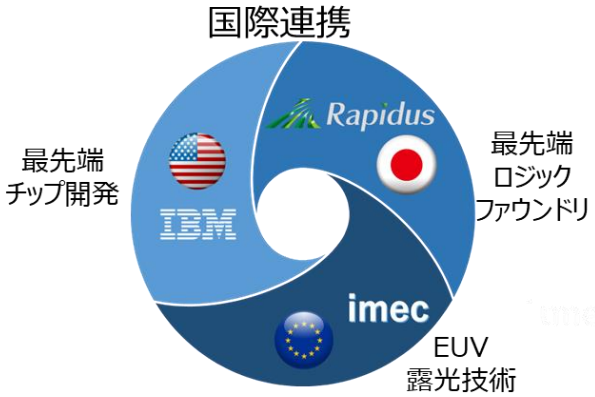
- 製造拠点の建設予定地として**北海道千歳市**を選定
- **IBM**と共同開発パートナーシップを締結
- **Imec**とMOCを締結
- **EUV露光装置**の発注
- 短TAT生産システムに必要な装置、搬送システム、生産管理システムの仕様を策定

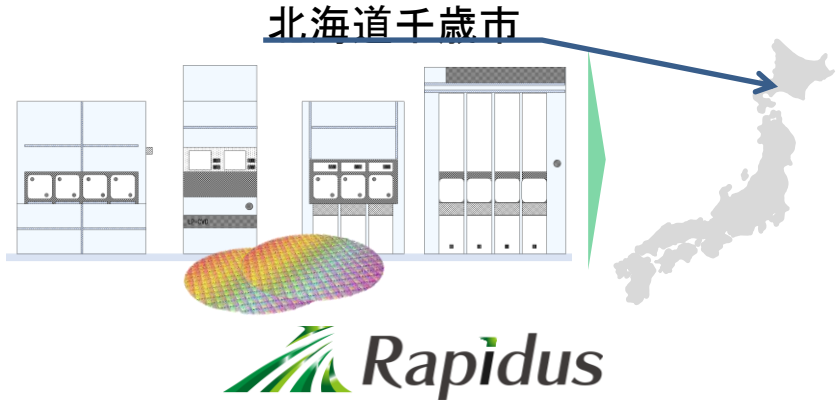
2023年度（支援上限：2,600億円(※2)）

- 北海道千歳市のパイロットラインの基礎工事
- **IBMアルバニー研究所**へ**研究員を派遣**
- **Imecのコアプログラム**に参加
- 短TAT生産システムに必要な装置、搬送システム、生産管理システムの開発

2020年代後半

- 2nm世代半導体の短TATパイロットラインの構築と、テストチップによる実証
- その成果をもとに**先端ロジックファウンドリとして事業化**





出典：経済産業省 半導体に関する最近の政策動向について

3. 日本における半導体産業の動向：国内における近年の取組

経済産業省では、先端半導体の生産施設の整備および生産を行うための計画を認定し、助成を実施。半導体製造拠点の整備によって大きな経済効果が見込まれている。

【事例①：TSMC（熊本県菊陽町）】

JASM第１工場

概要	第1工場
認定日	2022年6月17日
最大助成額	4760億円(R4.6.17)+ 7320億円(R6.2.24)
主要製品	ロジック（12-28ナノ）
初回出荷	2024年12月
設備投資額	約86億ドル規模

【事例②：キオクシア・ウエスタンデジタル（三重県四日市市）】

概要	四日市工場
認定日	2022年7月26日
最大助成額	929億円(R4.7.26)+ 1500億円(R6.2.6)
主要製品	3次元フラッシュメモリ （第6世代製品）
初回出荷	2023年2月
設備投資額	約2,788億円

製造拠点整備による経済効果

結果概要	経済モデル	GDP影響額	雇用効果（延べ）	税収効果等
	直接評価モデル	―	約3.6万人	約6,000億円
	産業連関分析	約4.2兆円、経済波及効果は9.2兆円	約46.3万人	約7,600億円
	CGEモデル	約3.1兆円	約12.4万人	約5,855億円 約9,793億円 （社会保障負担含む）

- 直接評価モデル：生産投資及び継続生産による税収等への直接的なインパクトを評価。
- 産業連関分析：産業連関表を基に、プロジェクトによる周辺地域・産業への経済波及効果を評価。国内の経済波及効果に関する分析の大半で使われる手法。なお、ある時点の産業構造で固定されていること、供給制約が無い等には留意が必要。
- CGEモデル：産業連関分析の発展形。産業連関分析では捨象されている、各経済主体の相互作用を通じた産業構造の変化や、労働市場等の供給制約を踏まえた現実経済に近いモデルを活用した分析であり、産業連関分析と比較して結果が保守的に出る傾向があるが、長期的な分析が可能。現時点での日本経済に基づいた試算となる点等には留意が必要。

出典：経済産業省 半導体・デジタル産業戦略

3. 日本における半導体産業の動向：中部地域における近年の取組

※ いずれも、供給開始の日から10年以上の継続生産を予定

ローム・東芝デバイス＆ストレージ（※）　従来型半導体

- **パワー半導体**は、産業機器、電気自動車など**電気を使うあらゆる機器に使用される中核部品**。省エネに貢献する半導体として注目されており、**市場規模は2030年には約5兆円まで拡大する見込み**。
- 一方、世界シェアにおいて、**日本では複数の国内企業が少数のシェアを分け合い**、1位のインフィニオン（独）に大きく劣後している状況。
- またSiCウエハは、大半を**ドイツ（ローム子会社）やアメリカからの調達に依存**している状況。
- こうした状況を踏まえ、ローム・東芝D＆Sの二社は、**SiCパワー半導体の生産はロームに、Siパワー半導体の生産は東芝D&Sに資源集中することで重複を排除**するとともに、**SiCウエハの生産**についても、現在、ローム子会社が**ドイツで実施している量産機能と同じプロセスを新たに国内において開始する**ことで、それぞれ供給能力を拡大し、**国内のパワー半導体サプライチェーンの強靭化を図る。**

＜取組概要＞

- □ **生産する品目**：SiC／Siパワー半導体、SiCウエハ
- □ **最大助成金額**：1,294億円　※助成率は1/3以下
- □ **施設の所在地**：（SiC）宮崎県東諸県郡国富町／（Si）石川県能美市
- □ **生産能力**：SiCパワー半導体72万枚／年
  SiCウエハ71万枚／年相当
  Siパワー半導体42万枚／年
- □ **供給開始**：(SiC)2026年4月、(Si)2025年3月

（※）ラピスセミコンダクタ（ローム子会社）、加賀東芝エレクトロニクス（東芝D&S子会社）を加えた4社連名による計画。

イビデン株式会社　半導体部素材

- **パッケージ基板**は、半導体とマザーボード（CPU、メモリ、ストレージなど複数の部品が接続される基板）の仲介役を果たし、**半導体を電子デバイスに実装するための、重要な部素材**。
- **今回の投資では、世界的に需要の高まっているサーバー向け等の高機能パッケージ基板（FC-BGA基板）**について、大型化・高多層化・高密度化・高速化に対応するため、製造プロセス及び生産設備の高度化を行う。
- これにより、FC-BGA基板の**生産能力を強化**し、顧客プレゼンスを高めるとともに、**世界トップシェアを維持**する。

＜取組概要＞

- □ **生産する品目**：高機能FC-BGA基板
- □ **最大助成金額**：405億円　※助成率は1/3以下
- □ **施設の所在地**：岐阜県揖斐郡大野町
- □ **生産能力**：高機能FC-BGA基板の生産を12%引き上げる能力を構築
- □ **供給開始**：2025年7-9月期

3. 日本における半導体産業の動向：中部地域における近年の取組

半導体産業を支え、その将来を担う人材の育成・確保に向けて、産業界、教育機関、行政の個々の取組に加えて、産学官が連携しながら、地域単位での取組を促進。

産業界の取組

JEITAの半導体人材育成の取組

- ✓ 全国半導体人材育成プロジェクト（出前授業、工場見学、高専カリキュラム策定に貢献など）
- ✓ 国内最大級IT見本市「CEATEC（シーテック）」で「半導体人材育成フォーラム」開催

教育機関の取組

高専・大学の半導体人材育成の取組

- ✓ 高専における半導体の基礎を学ぶカリキュラムの実施【佐世保高専、熊本高専】
- ✓ 大学における研究開発を通じた、将来の半導体産業を牽引する人材の育成【東工大、東大、東北大】（今後、拠点の拡大を検討）

国の取組

デジタル人材育成推進協議会

（目的）成長分野の国際競争力を支えるデジタル人材の産学官連携による育成

- ✓ 産学官連携による大学・高等専門学校のデジタル人材育成機能の強化の検討
- ✓ 地域ごとのデジタル人材ニーズの把握・検討・産業育成の促進の検討

地域単位の取組

※ 今後、関東・北海道にも展開予定

九州半導体人材育成等コンソーシアム

（産）ソニー、JASMなど
（学）九州大、熊本大など
（官）九州経済産業局など
高専での出前講座、教員向け研修会を実施。

東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会

（産）キオクシア岩手など
（学）東北大など
（官）東北経済産業局など
半導体産業PR、半導体講習会、インターン等の取組を検討。

中国地域半導体関連産業振興協議会

（産）マイクロンなど
（学）広島大・岡山大など
（官）中国経済産業局など
カリキュラム高度化、特別講義、ワークショップ等の取組を検討。

中部地域半導体人材育成等連絡協議会

（産）キオクシアなど
（学）名古屋大など
（官）中部経済産業局など
工場見学会、インターンシップ、特別講義等の取組を検討。

研究機関（LSTC）の取組

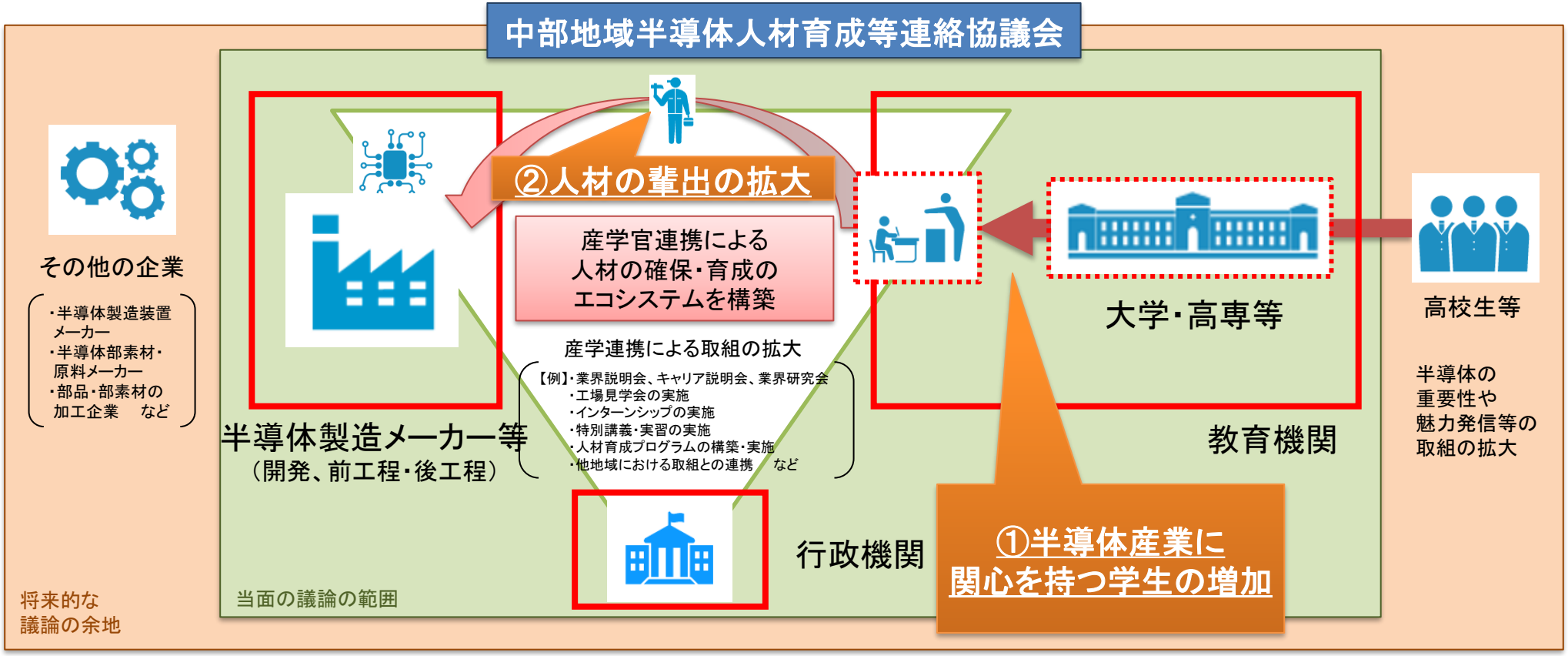
更に

- ✓ 2020年代後半に次世代半導体の設計・製造基盤の確立に向けて、これらを担うプロフェショナル・グローバル人材育成を目指す
- ✓ 半導体の回路設計から、最先端パッケージング、量産プロセスに至るまでを一気通貫で担う人材の育成を検討

出典：経済産業省 半導体・デジタル産業戦略

3. 日本における半導体産業の動向：中部地域における近年の取組

中部地域の半導体分野に関わる産学官の関係機関が連携して人材確保・育成等に取り組むことを通じて、①半導体産業に関心を持つ様々な理工系の学生の増加や、②半導体産業への人材輩出の拡大につながる環境の形成を目指す、「中部地域半導体人材育成等連絡協議会」を設置。



出典:中部経済産業局「中部地域半導体人材育成等連絡協議会」の設置について

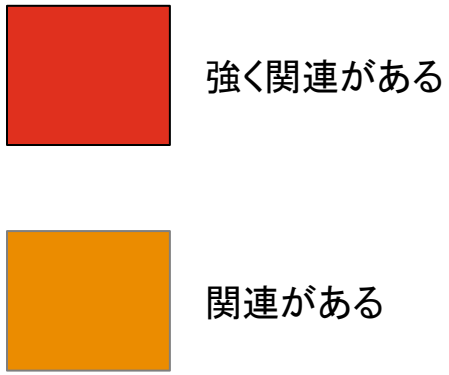
第3章

半導体の仕組み

（注釈）関連する主な学部学科のアイコンに関して

以後のページでででてくる各知識に対して、教育機関における学部学科との関連度をカラースケールで表している。

【学部学科と知識の関連性】



1. 半導体の仕組み：半導体の電気的特性

シリコンのように単一元素からなる結晶の状態の半導体は電気を通さないが、これらに不純物を意図的に添加することで電気的特性が変化し、P型半導体、N型半導体と呼ばれる電気を通す半導体になる。

01 半導体の構造・電気的特性

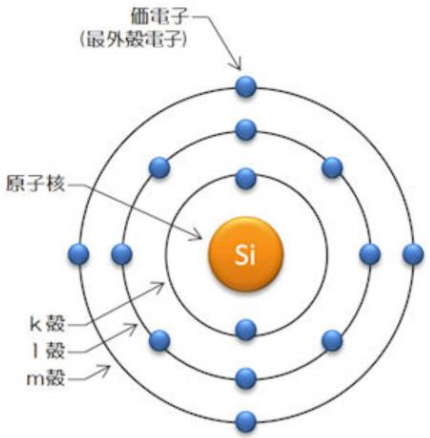
第1章で説明したように、現在半導体の材料として最も活用されているのはシリコンである。

このように、シリコン、ゲルマニウム等の単一元素のみで構成される半導体は真性半導体と呼ばれる。

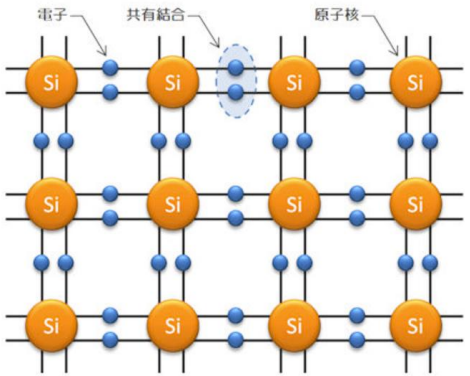
シリコン（ケイ素）は原子核の周りに14個の電子を持っており、電子同士が共有結合している。共有結合していると電子の流れる道がなくなり、電気が流れない。

そこで、不純物を混ぜることで電気特性が変化し、電子の移動が可能となる。この過程をドーピングという。

ドーピングを経て、その性質に応じてN型半導体、P型半導体ができあがる。(次頁以降に説明)



図：シリコンの電子殻



図：シリコンの結合状態

電気が流れない状態

真性半導体

不純物を添加
(「ドーピング」という)
添加するものによって半導体の性質が異なる

電気が流れる状態

不純物半導体

N型半導体

P型半導体

図：半導体の電気的特性変化のイメージ

出典:太陽光発電の仕組み「シリコン原子の構造」　参照

1. 半導体の仕組み：P型半導体、N型半導体とは

3章：半導体の仕組み

関連する主な学部学科

化学	物理	電気電子	機械	情報	その他理系 等

01 N型半導体とは

概要

真性半導体にリン(P)やヒ素(As)、アンチモン(Sb)を不純物として添加したもの

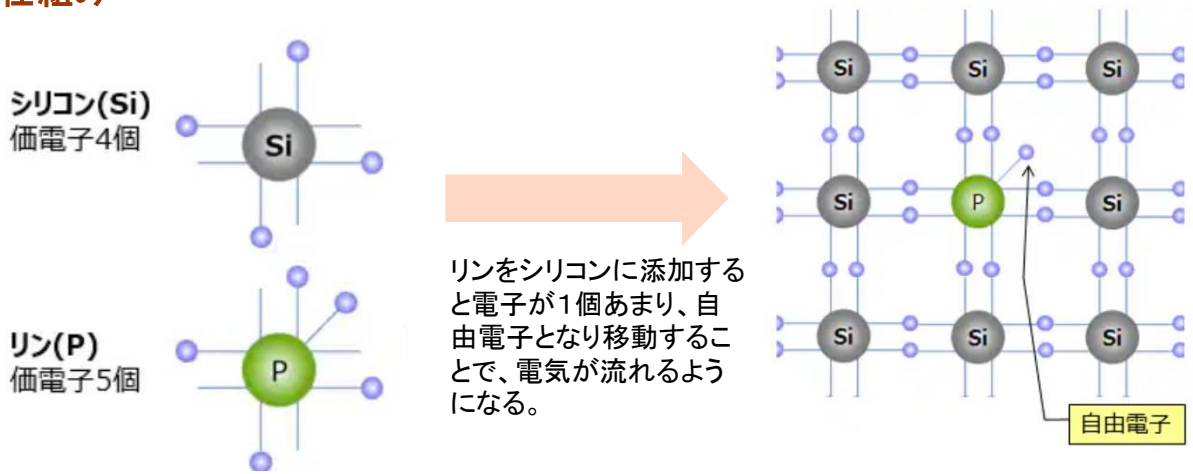
性質

IV族のシリコンは価電子を4個、V族のリンは価電子を5個持っている。

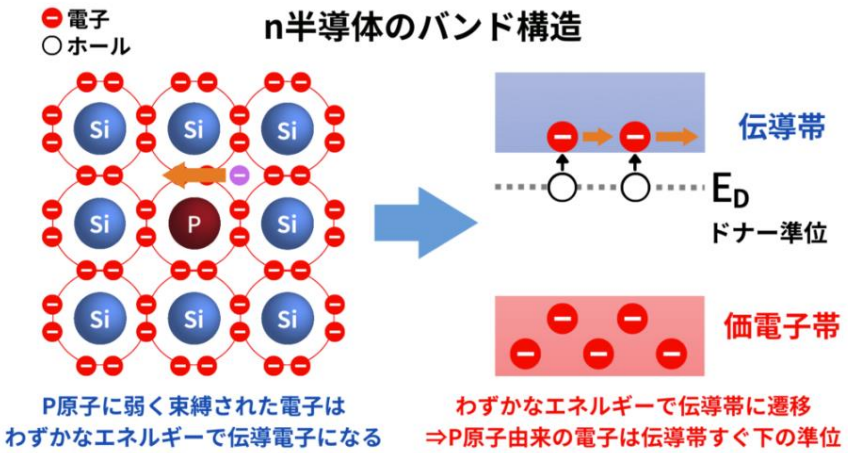
シリコンの単結晶に少量のリンを添加すると、リンが持っていた価電子の内の1個が余剰な電子として自由に動き回る(自由電子) 。

この自由電子(エレクトロン)が＋電極に引き寄せられて移動することで電流が流れる。

仕組み



参考)バンド図



出典:NIHON POLYMER HP、東芝デバイス＆ストレージ株式会社 HP 参照

1. 半導体の仕組み：P型半導体、N型半導体とは

02 P型半導体とは

概要

真性半導体にホウ素(ボロン)(B)やインジウム(In)を不純物として添加したもの

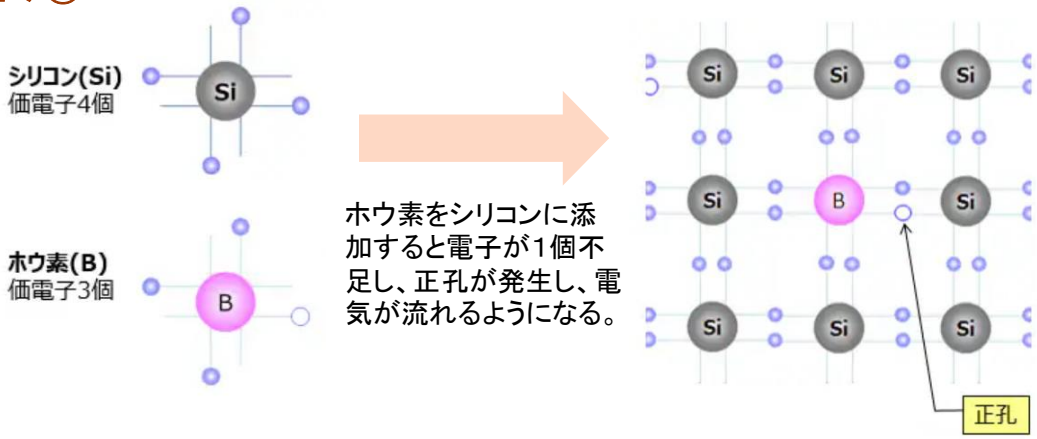
性質

IV族のシリコンは価電子を4個、III族のホウ素は価電子を3個持っている。

シリコンの単結晶に少量のホウ素を添加すると、シリコンとホウ素の結合の1か所で電子が不足となり、電子の欠落した穴ができる。この穴を正孔(ホール)とよぶ。

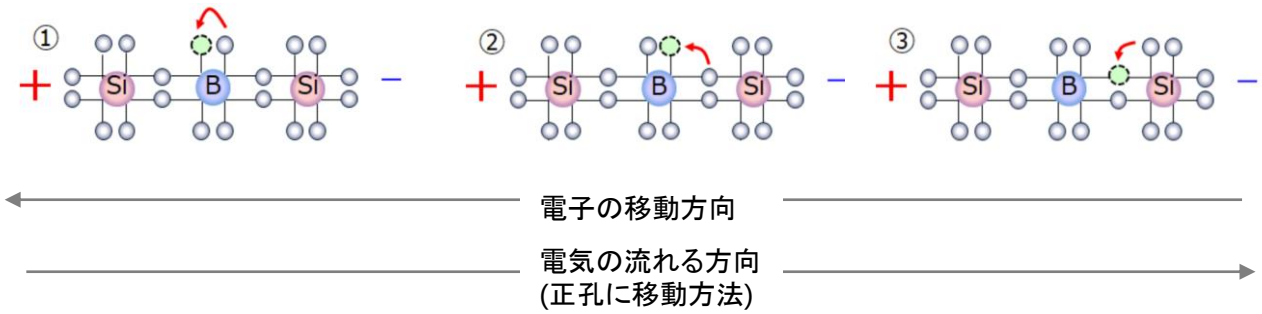
この状態で電圧をかけると、近隣の電子が正孔へ移動してくるため、その電子のいたところが新たな正孔となって、次々に正孔が－極側へ移動していくように見える。

仕組み①

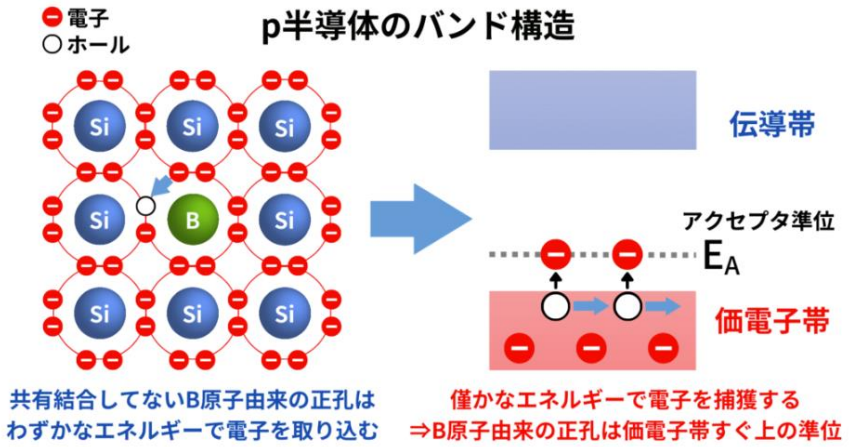


仕組み②

電子が「＋」に移動するため、正孔の位置が「－」に移動し、電気が流れるようになる。



参考)バンド図



出典:東芝デバイス＆ストレージ株式会社 HP、Shindengen HP 参照

1. 半導体の仕組み：ダイオードとは

01 概要

前頁の通り、電気を流す仕組みの違いによって、半導体はN型半導体とP型半導体に分けられており、P型半導体とN型半導体を1つの結晶としてつなげたPN接合により構成されたものがPNダイオードであり、最も一般的に使われている。

ダイオードとは、電流を一定の方向に流す半導体素子であり、PNダイオードではP型半導体につながる電極をアノード（A）、N型半導体につながる電極をカソード（K）と呼ぶ。（図①）

図：ダイオードのイメージ

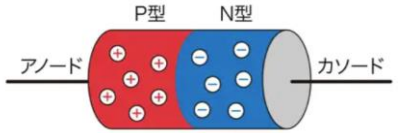


図 ①

02 特徴・性質

整流作用

一般的な電源は交流電流のため、電流の方向が常に入れ替わっている。ダイオードには決まった方向の電気しか流さない性質があり、交流電流のうち順方向の電流のみを取り出せる。

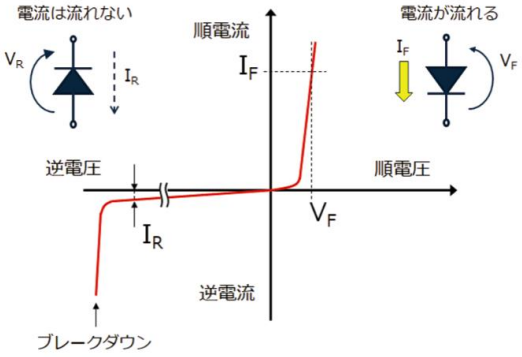
検波

ダイオードはラジオなどの電波から音声信号を取り出す検波という役割がある。

電圧制御

一般的には決まった方向にしか電流を流さないダイオードだが、逆方向の電圧が一定値を超えると電流が流れ始める。(右図IR)

その際には流れる電流が増えても電圧が変わらない性質を持っている。



図：ダイオードの電流と電圧の関係

02 特徴・性質(続き)

電流変換

ダイオードの中には光を電流に変える性質を持っているものもある。PN接合部に光が当たると、接合部近くにあるN側の電子が移動する。そのため、光が当たっている間はずっと電気が流れ続けるようになり、これを利用したのが太陽電池である。

外部から電圧を加えていない状態では電池として作用し、電圧を加えているときはダイオードとして働く性質を持つ。可視光によって反応するものもあるが、目に見えない光で反応するものは赤外線リモコンの受光部などに利用される。

03 動作原理

PNダイオードのアノード側に電池の「－」を、カソード側に電池の「＋」を接続すると、半導体内の電気が電極側に引き寄せられ、PNの結合部に電気の空白地帯が発生し、電気は流れない。（図②）

逆にアノード側に電池の「＋」を、カソード側に電池の「－」を接続すると、半導体内の＋と－の電気がPとNの接合部でくっつき、それぞれの電気が相殺されるが、電極から次の電気が送られるため、電気が流れる。（図③）

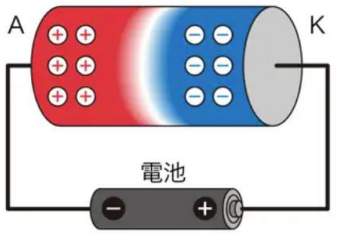


図 ②

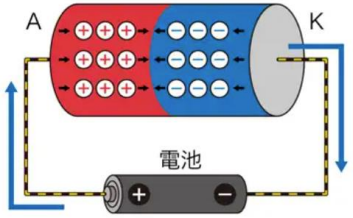


図 ③

出典:松定プレシジョン HP、Shindengen HP 参照

1. 半導体の仕組み：トランジスタとは

01 概要

トランジスタとは、電気の流れをコントロールする半導体素子である。ダイオードと同様にPN接合によって構成される。

02 特徴・性質

増幅機能

小さな電気信号を何倍にも大きくする。

図：増幅のイメージ

スイッチング機能

信号によって電気を流したり、止めたりする。

図：スイッチングのイメージ

03 種類と動作原理

Type1：バイポーラトランジスタ

バイはBi（2つ）、ポーラはPolar（極性）の意味。

このトランジスタは、増幅率が高い特徴をもつ。また、高周波数下でもノイズ特性が高い。

バイポーラトランジスタは「NPN型」と「PNP型」に分類される。

三本のピンがあり、名称と役割のイメージは以下の通り。

エミッタ：配管　ベース：水道の栓　コレクタ：蛇口

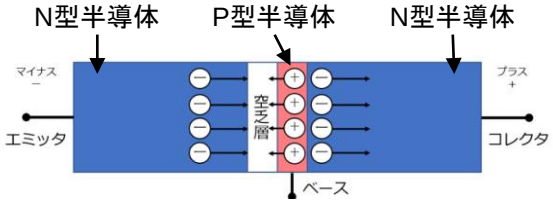
図：バイポーラトランジスタのイメージ画像

◆動作原理(NPN型のトランジスタの場合)

ベース側端子から電圧印加する場合としない場合とで電流が流れるか変化する。

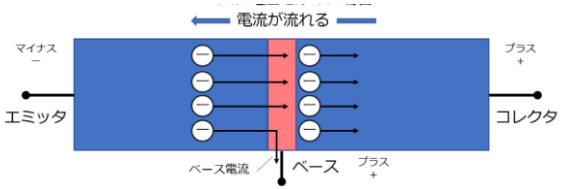
①ベースに電圧印加しない場合(右図)

エミッタ側とコレクタ側がそれぞれマイナスとプラスになるよう電圧をかけると、エミッタのN型半導体内にある自由電子と、間に挟まれたP型半導体の正孔が結合することで、空乏層ができ、電流は流れない。



図：ベースに電圧印加しない場合

②ベースに電圧印加をする場合(左図)



図：ベースに電圧印加する場合

エミッタ側から供給された自由電子が正孔に惹かれてベース側に流れ込み、エミッタ-ベース間に電流が流れる。

P型半導体は非常に薄いため、エミッタ内部の自由電子はそこに留まらず、コレクタ側に移動し、プラスのコレクタ側からマイナスのエミッタ側に電流が流れる

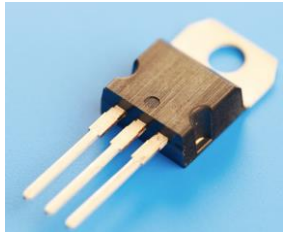
つまり、エミッタ-ベース間に少量の電流を流すことで、エミッタ-コレクタ間に流れる電流が格段に増え、結果として増幅作用を獲得する。また、ベース側への電圧のオンオフで電流制御を行えるため、スイッチングとしても用いることができる。

Type2：ユニポーラトランジスタ

ユニはUni（1つ）、ポーラはPolar（極性）の意味。ユニポーラトランジスタは「FET(Field Effect Transistor)」ともよばれる。

バイポーラトランジスタに比べ、消費電力が少ないことが特徴であり、スイッチング速度が速く、小型軽量化に適している。

ユニポーラトランジスタには「MOS型」（次頁で説明）と「接合型」の2種類があり、それぞれにP型、N型という分類がある。



図：ユニポーラトランジスタのイメージ画像

出典:AGUS HP、NTT研究開発 HP、ROHM SEMICONDUCTOR HP、村田製作所　HP　参照

1. 半導体の仕組み：MOSトランジスタとは

3章：半導体の仕組み

関連する主な学部学科

化学	物理	電気電子	機械	情報	その他理系 等

01 概要

MOSトランジスタとは、Metal Oxide Semiconductorの略で、金属酸化膜半導体を指す。

一般的には、半導体のシリコンの表面を酸化させ、SiO2(二酸化シリコン膜)を製造し、その上に電極として金属をくっつけた構造となっている。

電荷の排出がドレイン、制御がゲート、電荷の源がソースとなる。

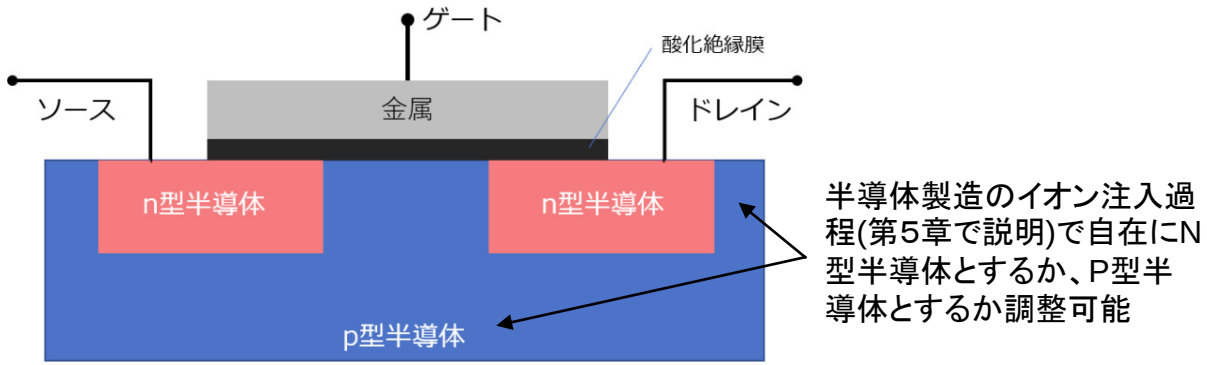
MOSトランジスタにはNチャンネル型MOS、Pチャンネル型MOSの2種類がある。(チャンネルは「通り道」という意味)

02 仕組み

Nチャンネル型MOS

P型半導体を土台にN型半導体にあたるソースおよびドレインを積層させ、金属酸化物(ゲートに接続されたもの)を底にくっつけた構造をしたのがNチャンネル型MOSである。

金属酸化物の反対には、サブストレート(基盤のこと)が配置され、ソースと繋がっている。



図：Nチャンネル型MOSの構造

02 仕組み(続き)

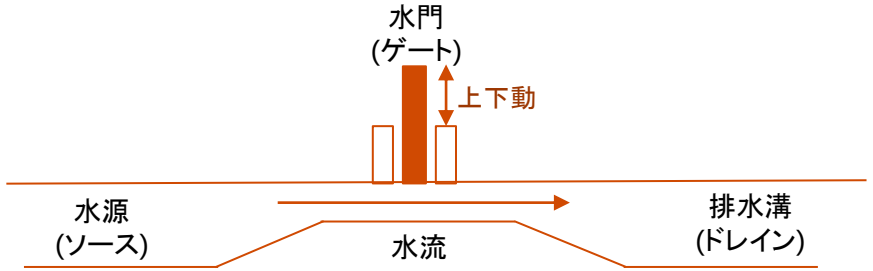
N型半導体それぞれからはソース・ドレイン、金属部分からはゲートの端子が付属している。

PN接合となった半導体は、前頁のようにソース・ドレイン間に電流を流したとしてもほとんど流れることはないため、さらにゲートからプラスの電圧を印加する。

すると、P型半導体にわずかにある自由電子がプラス電圧を感知して金属酸化物部分に近づき、正孔は逆に内部に引き寄せられる。結果として、ソース-ドレイン間に自由電子が移動できるようになり、電流が流れる。(仕組みは前頁と同様)

N型半導体部分が電子の通り道になることから、Nチャネル型MOS FETと呼ばれる。

バイポーラトランジスタと同様に、制御を担うゲートは水門のようなものあり、開け閉めすることで水をせき止めたり、また流したりする作用を持つ。



図：MOSトランジスタのイメージ

Pチャンネル型MOS

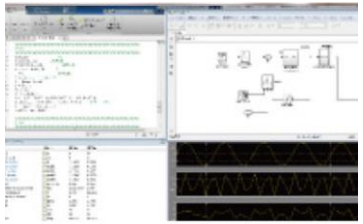
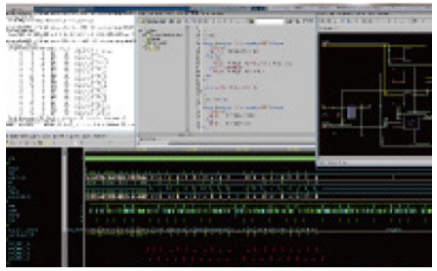
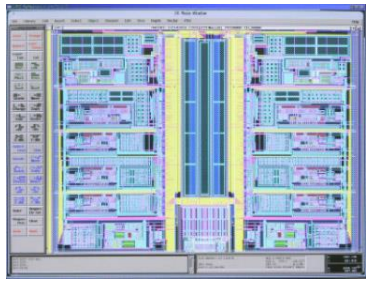
Pチャンネル型MOSは、Nチャンネル型とは逆で、土台にN型半導体、電流の通り道としてP型半導体が使われる。動作原理は同じだが、ドレイン・ソースはそれぞれマイナスとプラスになるよう、ゲートにかける電圧はマイナスとなるようにして動作する。

出典:菊地正典氏「半導体産業のすべて」coresfaff株式会社HP　参照

第4章

半導体の設計方法

1. 半導体の設計方法：半導体設計の流れ

製造過程	製造方法	イメージ図
商品企画	• 顧客である電子機器開発側からの要求を明確にし、ICとしての機能仕様を決定する。 • 電子機器の機能、性能、コストを大きく左右するため、顧客と打ち合わせを行いながら、顧客の要望を具体化して要求仕様書の中に取り込む。	ー
機能設計	• ICが組み込まれるシステム装置の動作を理解し、要求される性能を満たすための回路方式を決定する。 • 決定した回路方式に基づいて機能動作を記述し、シミュレーションで要求仕様を満たしているか確認。 • 機能の表現には、VHDLやVerilog-HDLといったハードウェア記述言語（HDL）や、C言語を使用し、EDA（Electronic Design Automation）ツ ー ルを用いて設計を行う。	
論理回路設計	• 論理回路設計では、機能設計された各ブロックを論理合成技術などを利用してNAND、NORなどの基本ゲート回路（ネットリスト）に変換する。(※NAND回路のみですべての素子の動作は表現可能) • 変換されたゲート回路は、論理シミュレーションを使用して回路動作が正しいことを検証する。また、ICとしてテストするためのテスタ用信号（テストパターン）も並行して作成し、テストパターンで全ての回路がテストされることを故障シミュレーションを使って確認する。	
レイアウト設計	• ゲート回路をICとしてシリコン上に実現するために、個々の素子を配置し、素子間を配線で接続した回路パターンを作成する。 • 回路設計の段階では、記号や線だったトランジスタや配線も設計ツールを用いてデザインすることで、実体の面積や太さを持たせていく。	

マスク製造工程へ続く

出典：JEITA「ICの設計から完成まで」、三栄ハイテックス HP　参照

1. 半導体の設計方法：半導体設計の流れ

4章：半導体の設計方法					
関連する主な学部学科					
化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

使われていた知識	内容	
ハードウェア 記述言語（HDL）	• ハードウェアの機能を記述するために使用される言語で、言語の文法に則って機能を記述し、そのプログラムを論理合成ツールに通すことで、所望する機能通りに動作する回路を作ることができる。	
	VHDL	• 米国国防総省が1980年から実施したVHSIC（Very High SpeedIntegrated Circuit）プロジェクトの成果として生まれたことから、この名前が付いている。ほぼすべてのハードウェア記述に対応できる。 • 1987年にIEEE1076として標準化されており、広く使われている。
	Verilog-HDL	• VHDLと並んで，多くのLSIメーカなどで使われている。プログラミング言語の一つであるC言語と記述ルールが似ているため、修得が比較的容易。また VHDLと比べて記述が簡潔なため，記述量も少なくて済むといわれる。 • 1995年にIEEE1364として標準化された。
HDLにおける 記述レベル	• HDLを書く時には、3つの記述レベルがあり、設計を進めていく中で、抽象的な内容からより具体的な内容へと抽象度のレベルを高めていく。	
	動作レベル （抽象度：高）	• システムの機能仕様を解釈して、C言語やC++などのプログラミング言語を使ってシステムの動作をモデリングする。その後、論理シミュレータを使って、システムの機能仕様の正しさを確認したり、システム全体をハードウェアとソフトウェアに分割した際の動作や概略性能を確認する。
	レジスタ転送 レベル（RTL） （抽象度：中）	• ハードウェアの機能を、レジスタおよび、レジスタ間の論理演算でモデリングする。論理演算は、論理演算式と条件分岐やループなどの制御文を使って表す。RTL設計の検証は、クロック・サイクルごとの論理動作をシミュレーションすることで，実行する。
	ゲートレベル （抽象度：低）	• ANDやNAND、OR、NOR、NOTなどの論理演算素子と、フリップフロップ（D，RS，JK，MS）などの順序演算素子の組み合わせで、論理回路をモデリングする。 • 回路の論理動作だけでなく、各素子や配線で生じる遅延も考慮した論理シミュレーションを行い、論理動作と共にタイミングも検証する。

出典：東京エレクトロン HP、JEITA HP　参照

1. 半導体の設計方法：半導体設計の流れ

4章：半導体の設計方法					
関連する主な学部学科					
化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

使われていた知識

論理回路

内容

- 論理とは電子回路で扱うデジタル信号の入力と出力の関係が一定の理論に従って行われることをいい、その動作を行う電子回路を論理回路と呼ぶ。
- どのような論理回路も、3種類の基本論理素子の組み合わせで構成されている。

回路の種類	内容	論理式・回路記号	論理式・回路記号
論理積(AND) 回路	• 1つの入力が1であり、かつ、もうひとつの入力も1である時のみ出力が1である回路	Y = A・B 	A B Y 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1
論理和(OR) 回路	• いずれかの入力が1もしくは、いずれもが1である時、出力が1である回路	Y = A + B 	A B Y 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1
否定(NOT) 回路	• 入力の逆が出力される機能を備え、入力が1である場合0が出力され、0が入力されると1が出力される回路	$Y = \overline{A}$ 	A Y 0 1 1 0

出典：東芝デバイス＆ストレージ株式会社 HP、RENESAS HP　参照

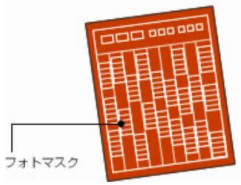
第5章

半導体の製造方法

1. 半導体製造工程の概観

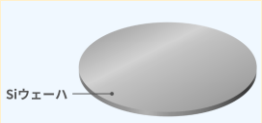
マスク製造

フォトマスク作成
ウエハ上に描く回路のパターンを設計し、転写するためのフォトマスクを作成する



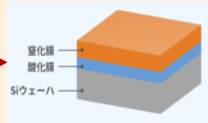
ウエハ加工

ウエハ製造
高温で溶かしたシリコン融液に種結晶と呼ばれる単結晶の小片を接触させ、徐々に引き上げて円柱状のインゴットを成長させ、インゴットを円盤状に輪切りにする

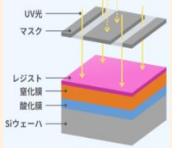


前工程

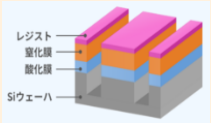
成膜
シリコンウエハ上に絶縁膜、導電膜、半導体膜などの薄膜を様々な装置と材料を用いて形成する



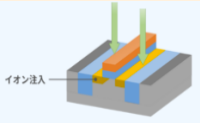
リソグラフィ
薄膜上にフォトレジストを塗布し、露光機によりフォトマスクを通して光を当てた後、現像してフォトマスク上のパターンをフォトレジストに転写する



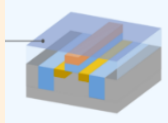
エッチング
フォトレジストパターンをマスクにして、下地の薄膜を部分的に除去し、薄膜のパターンを形成する



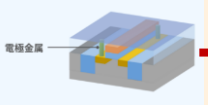
イオン注入
導電型不純物イオンをシリコンウエハ表面近傍やシリコンウエハ上に形成された半導体膜に部分的あるいは全面に打ち込む



CMP
リソグラフィにおけるパターン解像度を上げ、配線の段差被覆性を改善するために、ウエハ表面を完全に平坦化する



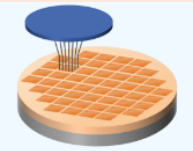
電極形成
穴をあけた後、電極金属を堆積し、外部との電気的な接続が可能となるようにする



繰り返し
(実施しない工程もある)

ウエハ検査工程

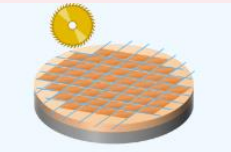
電気特性検査
ウエハに形成された数百個のチップの全てに対してプローブと呼ばれる針を接触させて電気的に問題ないかを検査する



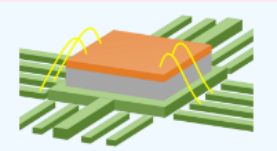
後工程

組立工程

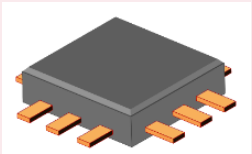
裏面研削・ダイシング
チップを搭載するパッケージの高さを抑え、シリコン基板の電気抵抗を下げる裏面研削の後、ダイシングでウエハを1枚1枚のチップに切り分ける



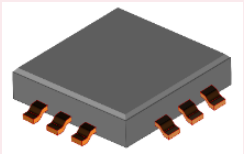
マウント・ボンディング
リードフレームと呼ばれる金属の枠にチップを固定し（マウント）、チップ上の引き出し電極とリードフレームを金細線で接続する（ボンディング）



封止
ボンディングが終わったチップを包むように樹脂封止機を用いて熱硬化性樹脂で封止する

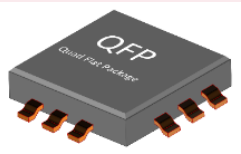


リードメッキ・リード成形
樹脂に覆われていないリード部にハンダなどでメッキするとともに、リード加工機を用いてリード線を必要な形状に加工



検査・選別工程

検査・選別
テスターを用い、製品規格に照らして良品か否かを検査・判定



※ 半導体の種類によって設計・製造方法が異なることに注意が必要である

出典：株式会社 ハマエンジニアリングHP　Semi journal「【図解】半導体製造工程の流れ」 参照

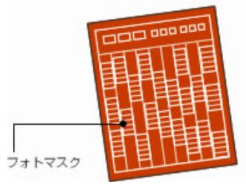
第5章

半導体の製造方法　①マスク製造工程

1. 半導体の製造方法：マスク製造工程の概観

マスク製造

フォトマスク作成
ウエハ上に描く回路のパターンを設計し、転写するためのフォトマスクを作成する



ウエハ加工

ウエハ製造
高温で溶かしたシリコン融液に種結晶と呼ばれる単結晶の小片を接触させ、徐々に引き上げて円柱状のインゴットを成長させ、インゴットを円盤状に輪切りにする

前工程

成膜
シリコンウエハ上に絶縁膜、導電膜、半導体膜などの薄膜を様々な装置と材料を用いて形成する

リソグラフィ
薄膜上にフォトレジストを塗布し、露光機によりフォトマスクを通して光を当てた後、現像してフォトマスク上のパターンをフォトレジストに転写する

エッチング
フォトレジストパターンをマスクにして、下地の薄膜を部分的に除去し、薄膜のパターンを形成する

イオン注入
導電型不純物イオンをシリコンウエハ表面近傍やシリコンウエハ上に形成された半導体膜に部分的あるいは全面に打ち込む

CMP
リソグラフィにおけるパターン解像度を上げ、配線の段差被覆性を改善するために、ウエハ表面を完全に平坦化する

電極形成
穴をあけた後、電極金属を堆積し、外部との電気的な接続が可能となるようにする

繰り返し
(実施しない工程もある)

ウエハ検査工程

電気特性検査
ウエハに形成された数百個のチップの全てに対してプローブと呼ばれる針を接触させて電気的に問題ないかを検査する

後工程

組立工程

裏面研削・ダイシング
チップを搭載するパッケージの高さを抑え、シリコン基板の電気抵抗を下げる裏面研削の後、ダイシングでウエハを1枚1枚のチップに切り分ける

マウント・ボンディング
リードフレームと呼ばれる金属の枠にチップを固定し（マウント）、チップ上の引き出し電極とリードフレームを金細線で接続する（ボンディング）

封止
ボンディングが終わったチップを包むように樹脂封止機を用いて熱硬化性樹脂で封止する

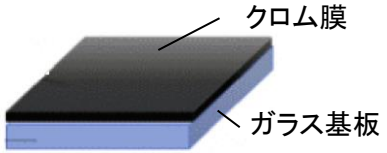
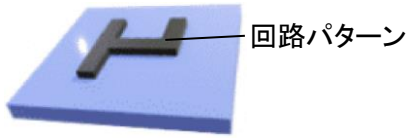
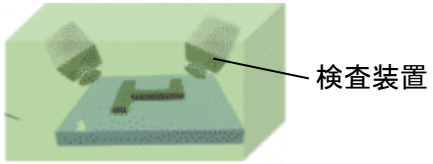
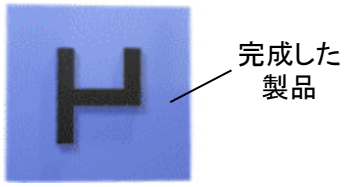
リードメッキ・リード成形
樹脂に覆われていないリード部にハンダなどでメッキするとともに、リード加工機を用いてリード線を必要な形状に加工

検査・選別工程

検査・選別
テスターを用い、製品規格に照らして良品か否かを検査・判定

出典：株式会社 ハマエンジニアリングHP　Semi journal「【図解】半導体製造工程の流れ」 参照

2. マスク製造工程

製造過程		製造方法	イメージ図
回路・パターン設計		• 開発計画に基づいて半導体の機能や性能を決定し、その機能を実現するために回路の設計を行う。 • 完成した回路図に対してシミュレーションを繰り返し行い、動作を確認する。 • 動作に問題がなければ、回路図からEDAツール(設計作業を自動化するツールやソフトウェア)の1種であるCADを使用して、回路パターンの図面を作成する。	
フォトマスク作成	STEP 1	• 石英のガラス基板上にクロム膜を張り、フォトマスクの基板を作成する。	
	STEP 2	• フォトマスクに電子ビームによる光で回路パターンを露光し、露光された部分とされない部分を切り分けて、マスク上にパターンを形成する。	
	STEP 3	• マスクに形成された回路パターンが正常かどうかを検査し、不具合が見つかった際は、修正を行う。	
	STEP 4	• 正常化されたフォトマスクを、洗浄する。完成したフォトマスクはウエハの表面に回路パターンを焼き付けるために、前工程のリソグラフィにて活用する。	

ウエハ加工工程へ続く

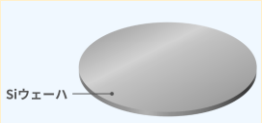
出典：株式会社 ハマエンジニアリングHP　FAプロダクツHP　参照

第5章

半導体の製造方法　②ウエハ加工工程

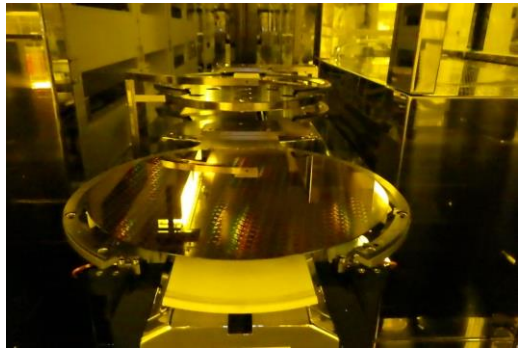
3. 半導体の製造方法：ウエハ加工工程の概観

マスク製造	ウエハ加工	前工程					
フォトマスク作成 ウエハ上に描く回路のパターンを設計し、転写するためのフォトマスクを作成する	**ウエハ製造** 高温で溶かしたシリコン融液に種結晶と呼ばれる単結晶の小片を接触させ、徐々に引き上げて円柱状のインゴットを成長させ、インゴットを円盤状に輪切りにする	**成膜** シリコンウエハ上に絶縁膜、導電膜、半導体膜などの薄膜を様々な装置と材料を用いて形成する	**リソグラフィ** 薄膜上にフォトレジストを塗布し、露光機によりフォトマスクを通して光を当てた後、現像してフォトマスク上のパターンをフォトレジストに転写する	**エッチング** フォトレジストパターンをマスクにして、下地の薄膜を部分的に除去し、薄膜のパターンを形成する	**イオン注入** 導電型不純物イオンをシリコンウエハ表面近傍やシリコンウエハ上に形成された半導体膜に部分的あるいは全面に打ち込む	**CMP** リソグラフィにおけるパターン解像度を上げ、配線の段差被覆性を改善するために、ウエハ表面を完全に平坦化する	**電極形成** 穴をあけた後、電極金属を堆積し、外部との電気的な接続が可能となるようにする



繰り返し
(実施しない工程もある)

シリコンインゴットの製造	ウエハ加工	特殊加工
• 原料である珪石をもとに、化学的な処理を施し、シリコンウエハの原料である単結晶インゴットを製造する。	• 単結晶インゴットを切断、研磨、洗浄し、円盤状のシリコンウエハを製造する。	• 使用用途に応じて、シリコンウエハの表面に特殊な層を成膜する。(本テキストでは「エピタキシャル成長」について説明を記載する。)



ウエハの写真

出典：Semi journal「【図解】半導体製造工程の流れ」 SUMCOHP 参照　東芝デバイス＆ストレージ株式会社様の提供より作成

3. ウエハ加工工程：シリコンインゴットの製造

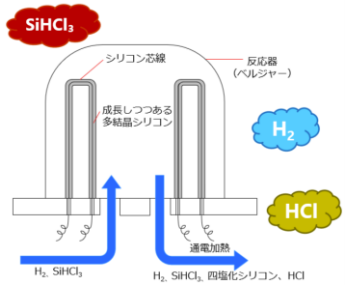
製造過程	製造方法

珪石

- 珪石（石英（SiO_2）が主成分の鉱石）から酸素を除去する（還元する）ために、木炭等の炭材とともに電気炉で融解し、還元する。
- そうすることで、シリコンが金属状に遊離して、純度98%程度の金属シリコンができる。

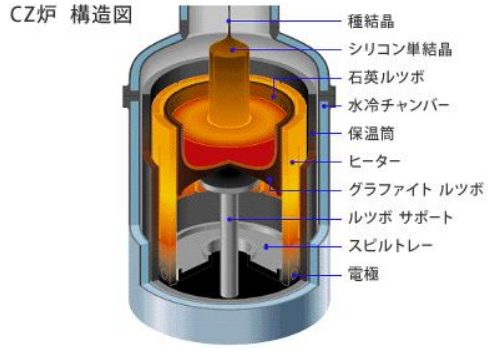
金属シリコン

- 脆い塊状の金属シリコンを細かく砕き、塩酸に溶かしてトリクロロシラン（$SiHCl_3$）の透明液体を作り、これを蒸留・精製し可能な限り高純度化する。
- シーメンス法を用い、高純度に精製されたトリクロロシランと超高純度の水素ガスを反応器に導入し、通電加熱したシリコン線芯の表面に棒状の多結晶シリコンを析出・成長させる。
- 多結晶シリコンは、細かい単結晶シリコンの粒が集まったもので、この段階で純度はイレブンナイン（99.999999999%）まで高純度化される。



多結晶シリコン

- 超高純度の多結晶シリコンを粗く砕き、石英製のルツボに入れて加熱炉で溶かす。この時に微量の導電型不純物を必要量だけルツボ内に添加する。
- シリコン融液にピアノ線で吊るした種結晶（小さな単結晶）を接触させ、回転させながら徐々に引き上げていくと、棒状のシリコン単結晶インゴットが成長する。
- このような単結晶成長法をCZ法（チョクラルスキー法）という。



単結晶インゴット

切断工程へ続く

出典：SUMCO HP、理研計器 HP 参照

3. ウエハ加工工程：シリコンインゴットの製造

関連する主な学部学科

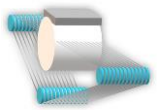
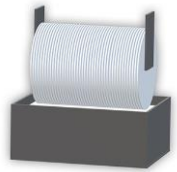
化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

使われていた知識	内容
酸化・還元反応	• 酸化：物質が酸素と反応すること • 還元：酸素を含む物質が酸素を失う反応のこと
結晶成長法	• 単結晶の製造は通常「結晶成長（Crystal Growth）」と呼ばれ、結晶成長法には大きく分けると、気相法、液相法、固相法がある。また、更に多くの方法に分類することが可能であり、目的とする材料によって、最適な方法が選ばれる。 • 代表的な単結晶成長方法として、シリコン育成に用いられるチョコラルスキー法、水晶育成に用いられる水熱合成法、光学単結晶成長に多用されるフラックス法などが挙げられる。
シーメンス法	• 1950年代にドイツのシーメンス社によって開発された、化学反応によって純度の高いシリコンを得る手法。半導体や太陽電池などに必要な高純度のシリコンを製造するための一般的な手法として、広く行われている。 • 不純物を含む金属シリコンを原料として製造されたトリクロロシランガスを、高温で水素ガスと反応させることにより、高純度のシリコンを析出させるという方法。トリクロロシランには、高温で熱分解を起こすと単体の珪素に変化する性質があり、シーメンス法ではその性質が利用されている。

	分類		主な成長方法
単結晶成長法	気相法		昇華法
			化学気相成長（CVD）法
			HVPE法
	液相法	融液成長法	CZ法
			FZ法
			ブリッジマン法
		溶液成長法	フラックス法
			TSSG法
			水熱合成法
	固相法		固相反応法
			ゾルゲル法

出典：日本ガイシ HP 参照

3. ウエハ加工工程：ウエハの加工

製造過程	製造方法	イメージ図
切断 (スライシング)	• 単結晶インゴットを直径が均一になるように外周を研削する。その後、内周刃切断機もしくはワイヤーソーを用いてスライスし、枚葉のウエハ形状に切り出す。	
粗研磨 (ラッピング)	• ウエハ両面を平行になるように整えながら、厚みのバラつきや発生した歪み・キズを整えるため、硬い特性を持つアルミナ研磨材で粗研磨（ラッピング）を行う。	
エッチング	• 腐食液などの化学薬品やフッ素などのガス、イオンなどを使用し、化学反応による腐食作用を起こして、前工程までにウエハ表面上についた機械加工によるダメージを、溶解・蝕刻加工し取り除く。(エッチングという) • 製造工程で付着した研磨剤や不純物、パーティクルなどもエッチング工程で除去する。	
研磨 (ポリッシング)	• ウエハ表面の凹凸をなくし、平坦度の高い仕上げを行うため、ウエハ表面を極微細粒子（スラリー）によって研磨する。	
洗浄・検査	• 付着異物や汚れなどを落とすために、バッチ洗浄装置や枚葉洗浄装置を使用して、物理的・化学的に洗浄し、目視検査や検査機器によって平坦度、比抵抗等を検査しウエハが完成する。	

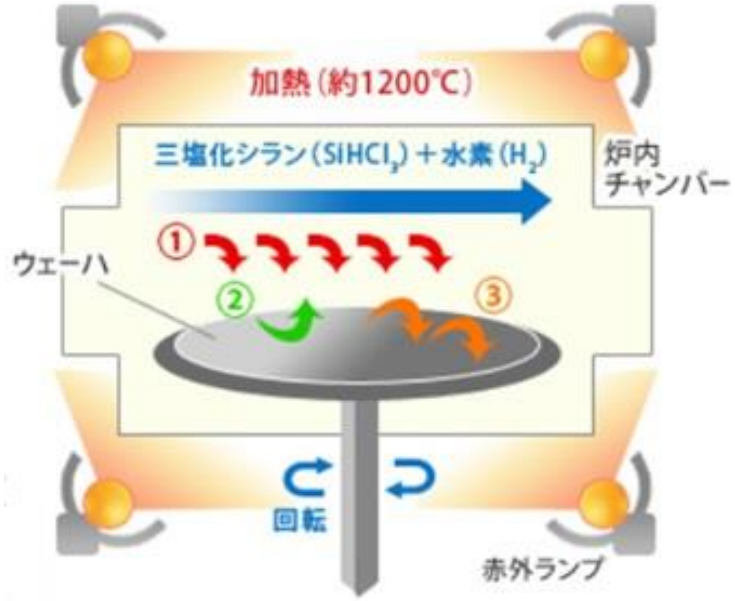
エピタキシャル成長工程へ続く

出典：SUMCO HP、GWJ HP、FAプロダクツ　HP　参照

3. ウエハ加工工程：エピタキシャル成長

エピタキシャル成長	• 半導体製造の薄膜結晶成長技術のひとつで、半導体の単結晶の基板上に、新しく単結晶の薄膜を成長させること • エピタキシャル成長によってできたウエハは、結晶の完全性が求められる場合や、抵抗率の異なる多層構造を必要とする場合に活用される

エピタキシャル成長のイメージ



①シリコン原子の吸着　②離脱
③吸着原子の移動による成長

成長の流れ

A)　エピタキシャル炉の中で約1200℃まで加熱

B)　炉内に気化した四塩化珪素（SiCl4）、三塩化シラン（トリクロルシラン、SiHCl3）を流す

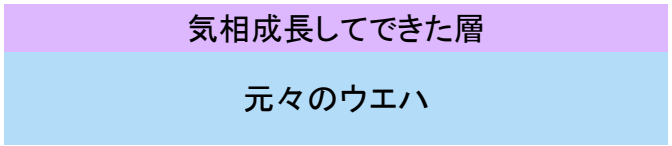
C)　ウエハ表面上に、シリコンの膜が化学気相成長(CVD法)により析出し、層が新しくできる

起きている化学反応

$SiCl_4 + 2H_2 \rightarrow Si + 4HCl$

$SiHCl_3 + H_2 \rightarrow Si + 3HCl$

構造図(イメージ)



出典：SUMCO HP、Semi journal　HP　参照

3. ウエハ加工工程：エピタキシャル成長

関連する主な学部学科

化学	物理	電気電子	機械	情報	その他理系 等

使われていた知識

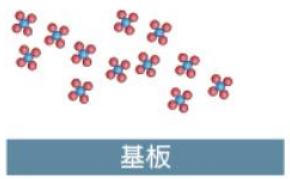
化学気相成長(CVD)

内容

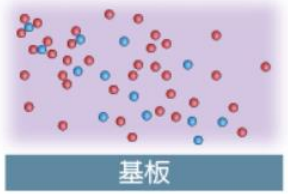
- 薄膜の成膜方法の一つ
- 化学気相成長：Chemical Vapor Depositionの略でCVDと呼ばれ、目的となる薄膜の原料ガス(気体)を供給し、熱、プラズマ、光などのエネルギーを与えて化学反応により膜を堆積する方法
- その与えるエネルギーによって、熱CVD、プラズマCVD、光CVDに分類される

CVDの成膜プロセス

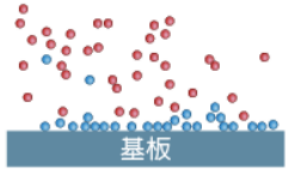
①原料ガスの導入



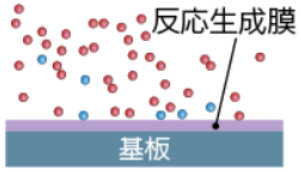
②化学反応
(熱・プラズマ・光による反応)



③基板へ吸着



④薄膜形成



CVDのメリット・デメリット

メリット

- 3D形状にも比較的均一に成膜可能
- 低い真空度でも成膜が可能で、排気時間も短くできる
- 原料ガスの選択によりDLC(ダイヤモンドライクカーボン)成膜が可能

デメリット

- 正確な膜厚制御が難しい
- 比較的成膜時間が長い

出典：NIDEC HP、COATING HP 参照

第5章

半導体の製造方法　③前工程、ウエハ検査工程

4. 半導体の製造方法：前工程、ウエハ検査工程の概観

マスク製造

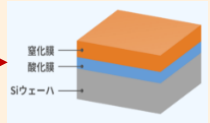
フォトマスク作成
ウエハ上に描く回路のパターンを設計し、転写するためのフォトマスクを作成する

ウエハ加工

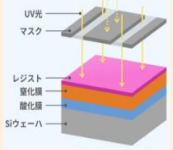
ウエハ製造
高温で溶かしたシリコン融液に種結晶と呼ばれる単結晶の小片を接触させ、徐々に引き上げて円柱状のインゴットを成長させ、インゴットを円盤状に輪切りにする

前工程

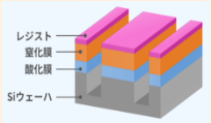
成膜
シリコンウエハ上に絶縁膜、導電膜、半導体膜などの薄膜を様々な装置と材料を用いて形成する



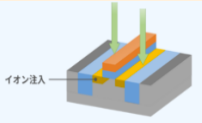
リソグラフィ
薄膜上にフォトレジストを塗布し、露光機によりフォトマスクを通して光を当てた後、現像してフォトマスク上のパターンをフォトレジストに転写する



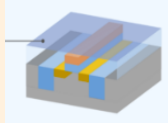
エッチング
フォトレジストパターンをマスクにして、下地の薄膜を部分的に除去し、薄膜のパターンを形成する



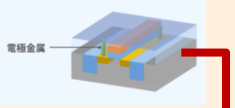
イオン注入
導電型不純物イオンをシリコンウエハ表面近傍やシリコンウエハ上に形成された半導体膜に部分的あるいは全面に打ち込む



CMP
リソグラフィにおけるパターン解像度を上げ、配線の段差被覆性を改善するために、ウエハ表面を完全に平坦化する



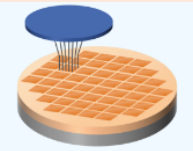
電極形成
穴をあけた後、電極金属を堆積し、外部との電気的な接続が可能となるようにする



繰り返し
(実施しない工程もある)

ウエハ検査工程

電気特性検査
ウエハに形成された数百個のチップの全てに対してプローブと呼ばれる針を接触させて電気的に問題ないかを検査する



後工程

組立工程

裏面研削・ダイシング
チップを搭載するパッケージの高さを抑え、シリコン基板の電気抵抗を下げる裏面研削の後、ダイシングでウエハを1枚1枚のチップに切り分ける

マウント・ボンディング
リードフレームと呼ばれる金属の枠にチップを固定し（マウント）、チップ上の引き出し電極とリードフレームを金細線で接続する（ボンディング）

封止
ボンディングが終わったチップを包むように樹脂封止機を用いて熱硬化性樹脂で封止する

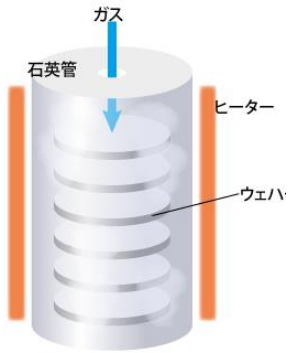
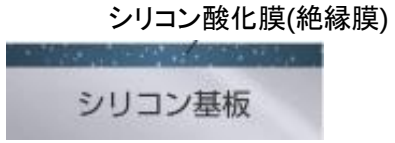
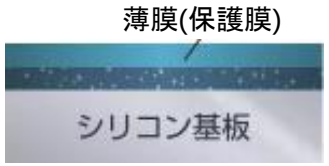
リードメッキ・リード成形
樹脂に覆われていないリード部にハンダなどでメッキするとともに、リード加工機を用いてリード線を必要な形状に加工

検査・選別工程

検査・選別
テスターを用い、製品規格に照らして良品か否かを検査・判定

出典：株式会社 ハマエンジニアリングHP　Semi journal「【図解】半導体製造工程の流れ」 参照

4. 半導体製造の前工程：成膜

製造過程	製造方法	イメージ図
表面酸化	• シリコンウエハを洗浄後、ウエハの表面を酸化させる。酸化の最も一般的な方法は、**熱酸化法**である。 • 熱酸化法では、シリコンを高温の酸化炉に入れ、酸化ガスやスチーム雰囲気中でシリコンと酸素を化学反応させ、二酸化シリコン膜(シリコン酸化膜)を成長させる。 • 酸化によってできた二酸化シリコン膜は**絶縁層**となって、回路間に電流が流れるのを遮断し、トランジスタの構成要素となっている。また、二酸化シリコン膜とシリコンの界面は安定な電気的特性を示す。 ※ 二酸化シリコン膜は絶縁層となるが、他の半導体材料には酸化などの方法で作れるよい膜がないため、シリコンがよく半導体で使用されている。	 
薄膜形成	• 酸化膜の表面に、様々な材料の薄膜(絶縁膜、導電膜、膜等)を形成するプロセスとして、ガス状の原料化合物を反応させることで目的の生成物を得る気相反応を利用する。 • 気相反応には、材料ガスに晒してウエハ上に膜をつけるCVD、放電によってイオン化した材料をウエハ表面に堆積させるスパッタリングなどがある。 • 新しく形成した薄膜は酸化膜を保護する役割を担っている。 ※ 次頁に各種成膜法を記載	

レジスト塗布工程へ続く

出典：SAMSUNG HP、菊地正典氏「半導体工場のすべて」、株式会社吉田SKT 、日立ハイテク HP　参照

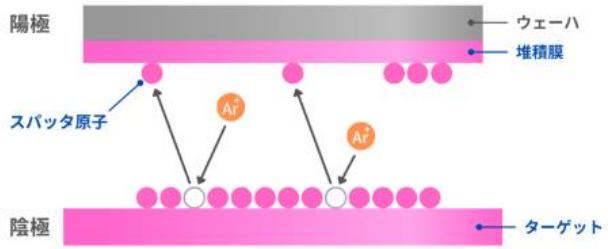
4. 半導体製造の前工程：成膜

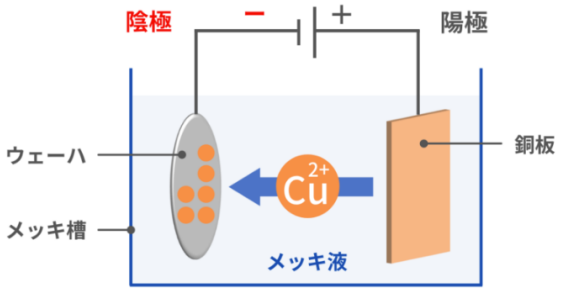
関連する主な学部学科

化学	物理	電気電子	機械	情報	その他理系 等

成膜方法	内容
熱酸化	• 高温の中、酸素ガス等を用いてシリコンと酸素を化学反応させ、二酸化シリコン膜を精製する方法。 • 流すガスの種類・形態によって方法が細かく分かれる
CVD	• 前頁で説明済のため省略
PVD (スパッタリング)	• 原料を加熱・スパッタ・イオンビーム照射などにより蒸発・飛散させ、ウエハ表面に物理的に堆積させる方法。 • 真空中で成膜したい材料にアルゴン粒子を高速で衝突させ、叩き出されたターゲット粒子をウエハに付着・堆積させることで成膜される
メッキ	• ウエハを陰極、銅板を陽極にして電流を流すことで、ウエハ表面に銅薄膜を析出させる方法。 • 硫酸銅などのメッキ液に、ウエハを陰極、銅板を陽極とし電流を流すことで、酸化還元反応によりウエハ表面にCu薄膜が成長する。

分類	酸化の方法
ドライ酸化法	酸素ガスを流して酸化する
ウェット酸化法	酸素ガスを加熱した純水に潜らせ、酸化する
スチーム酸化法	純水を加熱し、発生した水蒸気で酸化する
水素燃焼酸化	水素と酸素を燃焼させ発生した水蒸気で酸化する





出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、Semi journal「【【半導体】成膜工程とは？手法と原理」　参照

参考. 成膜技術(ALD)

関連する主な学部学科

化学 | 物理 | 電気電子 | 機械 | 情報 | その他理系 等

成膜方法

ALD
(原子堆積技術)

内容

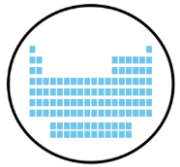
- CVDの一種であり、基盤表面に対して交互に異なる化学物質を順次供給し、自動的に原子層を一層ずつ堆積する方法。
- 近年はより小さく細かい半導体素子が必要とされるため注目されている技術である。(以下、特徴の例)

特徴01
複雑な構造に対して成膜が可能

特徴02
ナノメートルレベルの精密さで操作可能

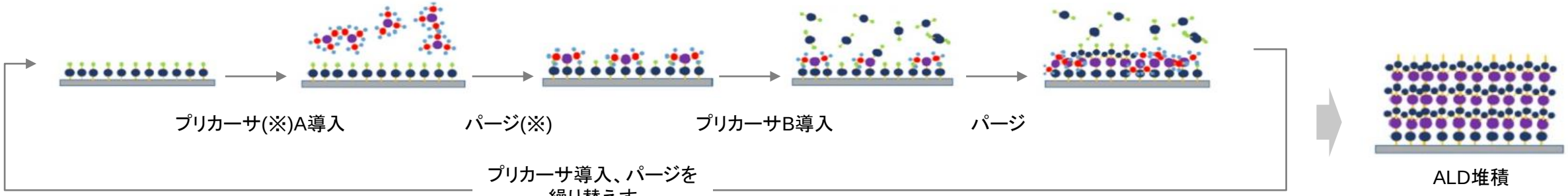
特徴03
高いバリア性を持つ

特徴04
使用する素材の汎用性が高い



特徴05
拡張性と再現性の高いプロセス

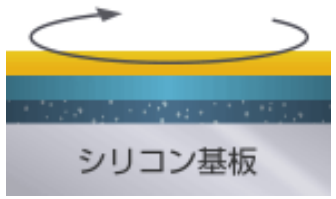
ALDの成膜プロセス



プリカーサ:薄膜を形成するために使用する化合物
パージ:不要な物質や不純物を除去するプロセス

出典:亀田直人著「高純度オゾンガスを用いたALDプロセスの特徴」、株式会社昭和真空 HP Beneq HP　参照

4. 半導体製造の前工程：リソグラフィ

製造過程	製造方法	イメージ図
レジスト塗布	• ウエハ表面にフォトレジストと呼ばれる**感光性樹脂**を塗布し、回転させることでウエハ表面に均一に塗布する。 • フォトレジストには、光が当たった部分が現像で除去されるポジ型フォトレジストと、光が当たっていない部分が除去されるネガ型フォトレジストがある。	
	フォトレジストの成分・役割：樹脂：フォトレジストの主成分 感光剤：露光中の化学反応を起こす成分 溶媒：フォトレジストを希釈し、塗布できる状態にする成分	
プリベーク	• 100℃前後でウエハを加熱し、フォトレジスト中の溶媒を蒸発させることで、フォトレジストが硬化し、ウエハ表面との密着性を向上させる。	

露光工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、株式会社吉田SKT HP　日立ハイテク HP　Semi journal「半導体のフォトリソグラフィとは？工程フローと原理」　参照

4. 半導体製造の前工程:リソグラフィ

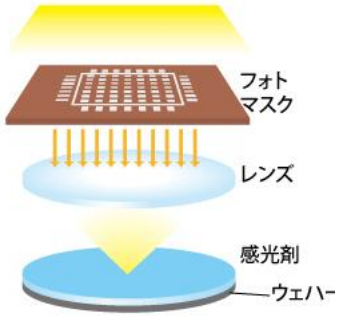
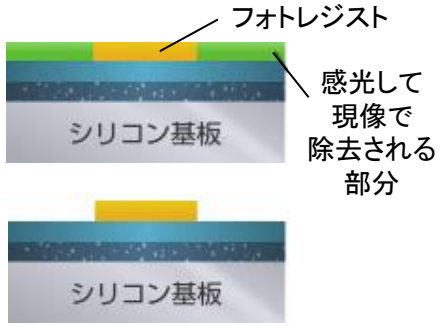
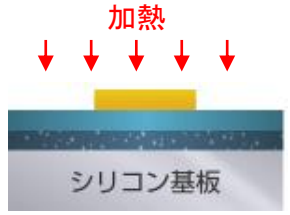
関連する主な学部学科

化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

使われていた知識	内容
感光	• 光が当たると分解する性質をもつ物質を感光性があるといい、化学的なプロセスを光化学反応という。 • 光化学反応は、物質を構成する原子や分子が、光エネルギー(光子)を吸収して生じた電子的励起状態(高いエネルギー状態のこと)から起こる。

出典:ウシオ電機株式会社 HP　参照

4. 半導体製造の前工程：リソグラフィ

製造過程	製造方法	イメージ図
露光	• 回路の設計が刻まれたマスクを通してエキシマレーザー(※)を光源に用いた露光を行い、回路パターンをウエハに焼き付ける。 • フォトマスクはレチクル(石英板上にクロムで回路パターンを描いたもの)とも呼ばれ、転写する4倍の寸法パターンが形成されていて、エキシマレーザー光はクロムのある部分は遮られ、石英部分は透過する。 • 露光することでフォトレジストが光に反応し、回路パターンを焼き付けられる。 ※ エキシマレーザー：気体レーザーの一種で、希ガスやハロゲンなどの混合ガスを用いて、強い紫外領域の光を発生させるレーザー	
現像	• 現像液で不要なフォトレジスト部分を除去し、露光した箇所を現像し、フォトレジストパターンを形成する。 • なお、現像液は露光部を残存させるネガ型では多くの場合は有機溶剤が使用され、未露光部を残存させるポジ型の場合はアルカリ現像液が用いられる。	
ポストベーク	• 露光が終わったウエハは焼き締めと呼ばれる軽い熱処理等により、フォトレジストが硬化し、ウエハ表面との密着性が向上する。熱処理によりエッチング工程においてレジストが剥がれないようになる。	

エッチング工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、株式会社吉田SKT HP　日立ハイテク HP　参照

(参考)回路の微細化に伴うリソグラフィ技術の進歩

01 回路の微細化

シリコンの半導体において1950年代末に1つのチップ上に複数の素子を搭載する「集積回路」が開発され、製造コストの削減、消費電力低減、動作速度向上、高機能化といった点から1つのチップに搭載する素子数(集積度)の増加、回路の微細化が求められてきた。

ムーアの法則

集積回路については、ムーアの法則と呼ばれる「一つのチップ上の素子数は2年で倍増する」という予測がなされ、1チップ1機能(素子)であったところ1チップ2機能、4機能のように1つのチップに搭載する素子数(機能)が指数関数的に増加している。(下図参照)

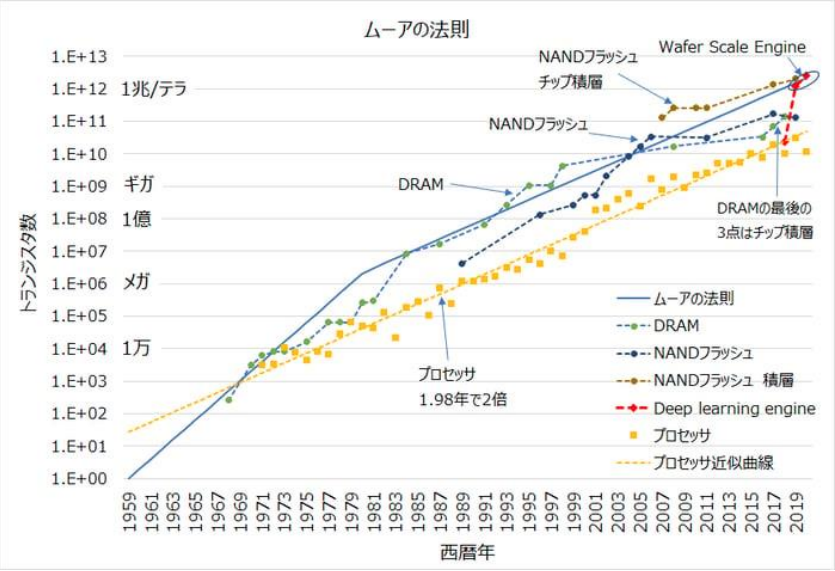
(Apple社の「iPhone14ProMax」のチップには約160億個のトランジスタを内蔵するとされている。)

1個のチップは、約1cm角の大きさである。これをLPレコード盤と同じ直径30cmのシリコンウェハ上に作る。1チップの中に作りこまれる素子(トランジスタ等)の加工寸法は、最先端のもので約40～50nmで、髪の毛の1/1000、ウィルスの大きさである。

この微細な素子が1チップ上には数十億個も搭載されており世界の人口よりも大きい数で、しかもそれぞれが同じ性質（特性）をもつ。

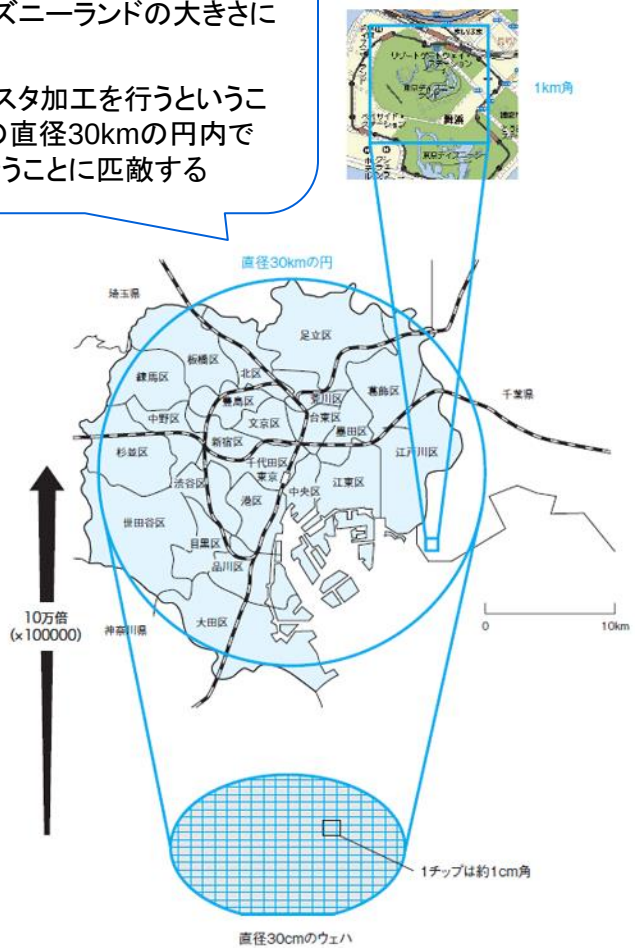
上記を支えているのがリソグラフィ技術である。

表：主要半導体デバイスのトランジスタ(素子)数の増加傾向



ウェハを東京23区の大きさに例えると、1辺が1cmのICチップの大きさは1km角となり、東京ディズニーランドの大きさに匹敵する。

50nmのトランジスタ加工を行うということは、この23区の直径30kmの円内で5mmの加工を行うことに匹敵する



図：チップの大きさのたとえ

出典：日清紡マイクロデバイス株式会社HP「もっと教えて電源ICブログ」吉田典生氏　JEITA HP　参照

(参考)回路の微細化に伴うリソグラフィ技術の進歩

02 リソグラフィ技術の進歩

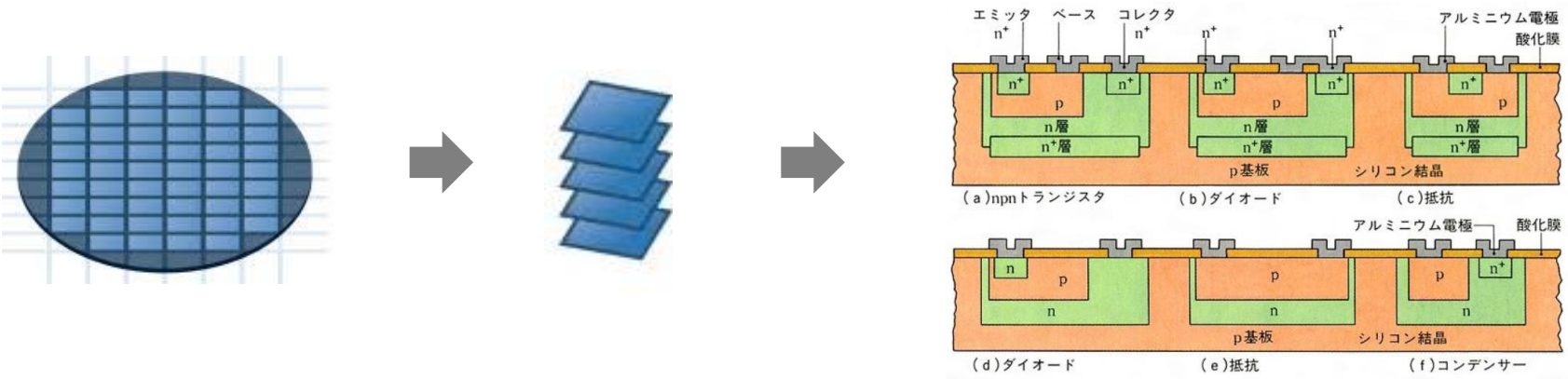
回路の微細化を実現するためにはリソグラフィの技術の高度化が不可欠であり、回路の線幅の微細化技術等も進んでいる。

1950～1960年代は数十ミクロンレベルの線幅であったが、最近は7nm、5nmプロセスの商用化が進み、量産が開始、スマートフォン、データセンターなど様々な業界がその恩恵を受けている。さらに、技術的なブレークスルーとして「3nm以下」の線幅技術の開発も進んでいる。

※　7nm以下の微細回路パターンをシリコンウエハ上に転写（露光）するための技術としてEUV露光というものも開発されている

リソグラフィにおいては、下図のように、シリコンウエハ上にある大量のチップ1つ1つにおいて、トランジスタ等の複数の素子をリソグラフィによって書き込んでいる。

各チップに対し回路を書き込む　　チップに複数素子の回路をかきこんでいる



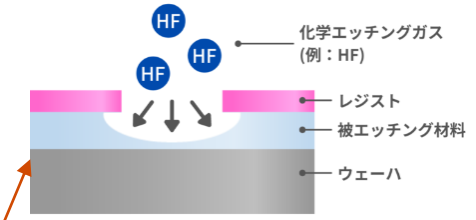
図：チップにおける回路のかきこみイメージ

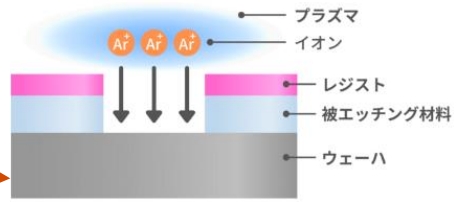
出典：NIHON POLYMER HP、株式会社モリセ精工 HP　日清紡マイクロデバイス株式会社HP「もっと教えて電源ICブログ」吉田典生氏　参照

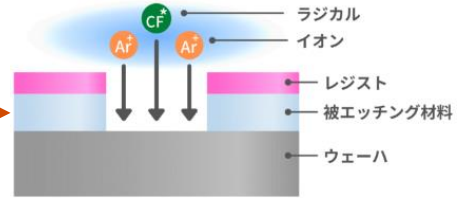
4. 半導体製造の前工程：エッチング

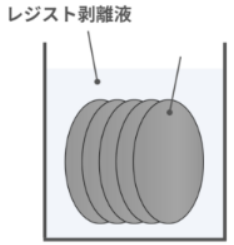
製造過程	製造方法	
エッチング	• フォトレジストパターンをマスクにして、「薄膜形成」でできた保護膜、二酸化シリコン膜、さらにシリコン表面を順次エッチングすることで、現像した半導体の回路パターンのみ残す。 • エッチングには、反応性ガスやプラズマで生成したイオンを用い、ウエハ上の不要部を除去する「**ドライエッチング**」(右図)と酸・アルカリ溶液とウエハとの化学反応(酸化、溶解)で、不要部を除去する「**ウェットエッチング**」がある。ドライエッチングの主な手法は以下のとおり。	
	ガスエッチング	• 化学エッチングガス(蒸気)と除去する膜との化学反応により不要部を除去する方法 • 例えば、エッチングガスにフッ酸蒸気(HF)を用いることで、ウエハ上の酸化膜を除去することが可能
	スパッタエッチング	• プラズマによって生成したイオンをウエハに衝突させることで、物理的に不要部を除去する方法 • ArやHeなどの不活性ガスを用い、プラズマを発生させることで生成したAr+やHe+イオンを基板に照射することで、基板を物理的にエッチングする
	反応性イオンエッチング	• プラズマによって生成したイオンによる物理エッチングと、ラジカルによる化学エッチングで不要部を除去する方法 • イオン粒子の衝突による物理エッチングに加え、反応性の高いラジカルと不要部(酸化膜など)が反応し、揮発することでエッチングが進行する
レジスト剥離・洗浄	• 残ったフォトレジストを酸化し、灰にして取り除く。(アッシングともいう) • アッシングでは、ウエハ上に残っている不純物を薬液に浸すことで取り除くウェットプロセス(右図)と溶液を使用しないドライプロセスがある。	

イメージ図









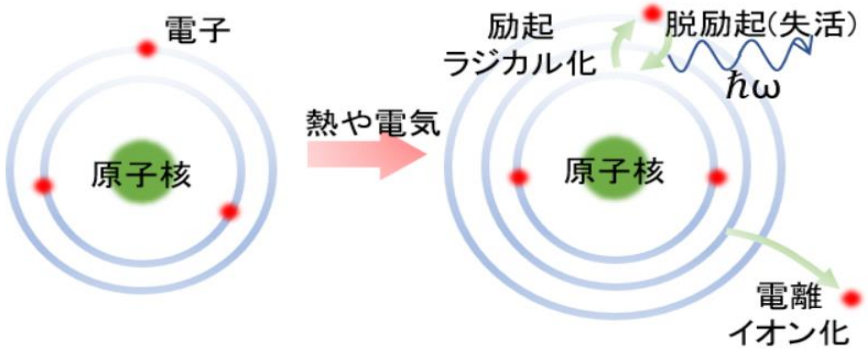
イオン注入工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、Semi journal「【ドライ/ウェット】エッチング工程とは？原理と装置の構成」 日立ハイテク HP　参照

4. 半導体製造の前工程：エッチング

5章：半導体の製造方法					
前工程					
関連する主な学部学科					
化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

使われていた知識	内容
プラズマ・ ラジカル	• プラズマとは物質の第4の状態を指し、気体にさらにエネルギーを加えていくと、物質の第4の状態と呼ばれるプラズマ状態になる。 • 分子・原子から電子も離れ、非常に活性状態で化学的には不安定な状態になり、ラジカルを含む状態になる。 • ラジカルとはエネルギーを吸収した原子、分子中の電子がより高いエネルギー準位に遷移(励起という)した状態あるいは粒子を指し、その不安定性から寿命は通常ナノ秒程度と非常に短く、そのため周囲の物質との間に高い反応性を示す。



(参考) ウェットエッチング		
シリコンの エッチング原理	酸化 $Si+HNO_3+H_2O \rightarrow SiO_2+HNO_2+H_2$ 溶解 $SiO_2+6HF \rightarrow H_2SiF_6+2H_2O$ 硝酸(HNO_3)はSiの酸化反応、フッ酸は生成したSiO_2の溶解反応を行う。 酸化・溶解を繰り返すことでSiが溶解・除去される。
酸化膜(SiO_2)の エッチング原理	溶解 $SiO_2+6HF \rightarrow H_2SiF_6+2H_2O$ SiO_2がHFと反応し、水溶性のH_2SiF_6が生成することで溶解する。
窒化膜の エッチング原理	酸化 $3Si_3N_4+4H_3PO_4+18H_2O \rightarrow 4(NH_4)_3+9SiO_2$ 溶解 $SiO_2+4H^++4e^- \rightarrow Si+2H_2O$ エッチングは熱リン酸(H_3PO_4,80℃)で行う。熱リン酸でシリコン が酸化されSiO2が生成した後、溶解

出典：MARUBUN HP 、積水化学工業株式会社HP　Semi journal「【ドライ/ウェット】エッチング工程とは？原理と装置の構成」　参照

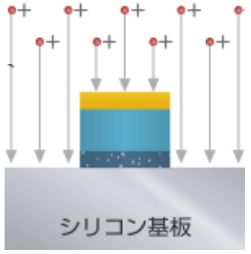
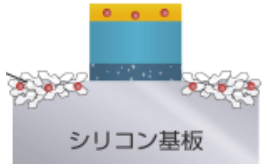
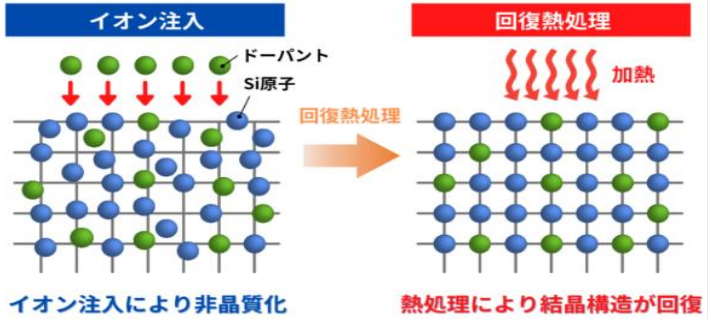
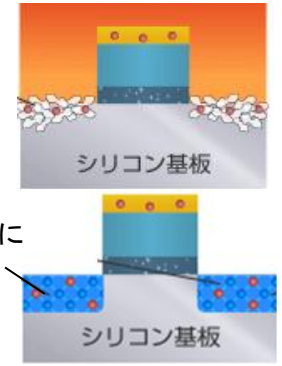
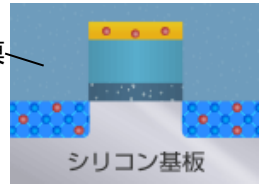
参考．ドライエッチングとウェットエッチングの比較

	仕組み	基板へのダメージ	精度	コスト
ドライエッチング	ドライエッチングでは、装置内に形成された電位差により、ガス中のイオンが基板に向かって垂直に加速される。 そのため、異方性エッチング(※)となるのが一般的である。 異方性エッチングでは、レジストのパターンが忠実に基板に転写されるため、微細なパターンを形成でき、**半導体製造により適している**。	△ 基板がダメージを受ける場合がある	ナノレベル	△ 高い
ウェットエッチング	等方性のエッチングが基本であるが、条件次第では異方性も可能である。 等方性エッチングではレジストの下が加工され、微細なパターンの形成は困難になる。 ただし、エッチング液に添加剤を配合するなどの工夫により、異方性エッチングが可能になる場合もある。	○ 基板へのダメージが少ない	△ ミクロンレベル	○ 低い

※異方性エッチングとは、エッチングの反応が一方向に向かって行われることをさし、等方性エッチングはエッチングの反応がすべての方向に向かって行われることをさす。
よって、等方性エッチングはすべての方向で腐食が進みレジストの下をえぐるようにエッチングが行われる。

出典：NISSHA HP　参照

4. 半導体製造の前工程：イオン注入

製造過程		製造方法	イメージ図
イオン注入	STEP 1	• 不純物イオンを注入する • 不純物イオンを注入することで、半絶縁物である半導体の電気的特性が変化し、伝導性をもつようになる。 • イオン注入は加速した原子をウエハに打ち込むことで、不純物を導入する手法である。	
	STEP 2	• 注入の衝撃により、イオン注入された領域は非晶質化(アモルファス化)する	
	STEP 3	• 熱処理を行い、ダメージが回復(結晶化)され、導入した不純物がSi原子の位置に置き換わって電気的に活性化される。(アニーリング) • リン、ヒ素、ホウ素などの不純物をウエハ表面に打ち込み、熱処理を行うことで、シリコン結晶格子が振動し、不純物が正しく格子点に入り、電気的特性が活性化される。 	
	STEP 4	• 保護膜として酸化膜を成膜する	

平坦化工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、 日立ハイテク HP　参照

4. 半導体製造の前工程：イオン注入

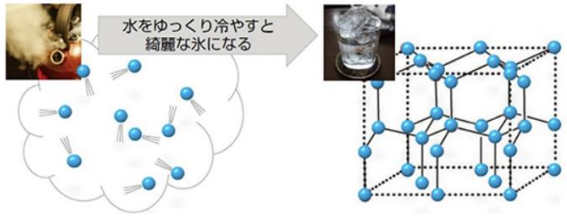
関連する主な学部学科

化学	物理	電気電子	機械	情報	その他理系 等

使われていた知識 / 内容

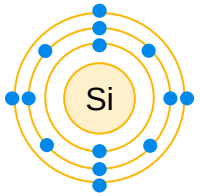
アモルファス・アニーリング

- アモルファスとは、原子や分子が規則正しい配列をとらず不規則な配列をしている固体物質を指す。
- アニーリングは焼きなまし（焼鈍）のことで、適当な温度に加熱したのち、ゆっくり冷却する操作をいう。イオン注入の過程ではアモルファス化したシリコン表面を安定化させている。



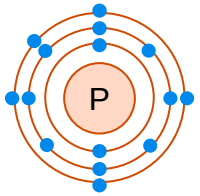
自由電子（リン・ヒ素）

- 電子は通常、陽子と中性子で作られる「原子核」の周りを、電子殻と呼ばれる軌道に沿って飛び回っているが、一部の物質や真空中で、電子殻から離脱して自由に動く電子を自由電子という。
- リンやヒ素は第Ⅴ族の元素であるため、シリコンウエハに転嫁することで、シリコン原子に束縛されず自由に動き回る「自由電子」が電気を運ぶ。(下図参照)



特徴
最外殻電子は4個であるため、Si原子同士が結合する場合は、価電子を共有しあって共有結合する

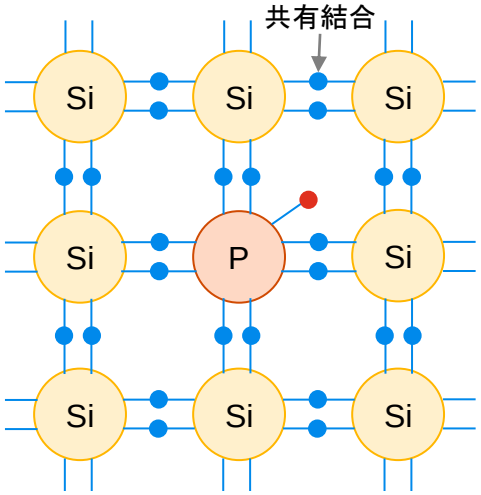
図：シリコン原子の電子配置



特徴
最外殻電子は5個であるため、Si原子より1個多くなっており、イオン注入では自由電子の役割を担う

図：リン原子の電子配置

●：価電子



図：自由電子の仕組み　●：自由電子

電気が流れる仕組み

シリコン原子は結合の手が4本ある4価の物質である。
5価の物質（リン P、ヒ素 As等）を不純物として添加すると、結合に不要な価電子1個は自由電子として振舞うことで電気が流れやすくなる。

出典：株式会社ケミコート HP　三和メッキ工業株式会社 HP　富士通株式会社 HP　東芝デバイス＆ストレージ株式会社HP　参照

4. 半導体製造の前工程：イオン注入

関連する主な学部学科

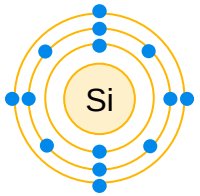
化学 | 物理 | 電気電子 | 機械 | 情報 | その他理系 等

使われていた知識

正孔
(ホウ素)

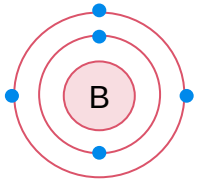
内容

- 価電子が移動した時に、価電子が元にいた位置に残った穴（孔）のことを正孔という。正孔は、負の電荷を持っている価電子が抜けた後に残る穴（孔）であるため、価電子とは逆に正の電荷を持っている。
- ボロンは第Ⅲ族の元素であるため、電気を運ぶのは電子の抜け穴としての正孔である。



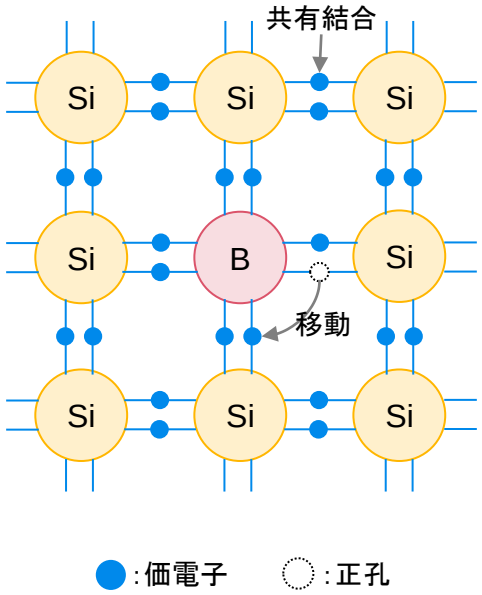
図：シリコン原子の電子配置

特徴
最外殻電子は4個であるため、Si原子同士が結合する場合は、価電子を共有しあって共有結合する



図：ホウ素原子の電子配置

特徴
最外殻電子は3個であるため、Si原子より1個少なくなっており正孔を生み出す要因になっている



電気が流れる仕組み

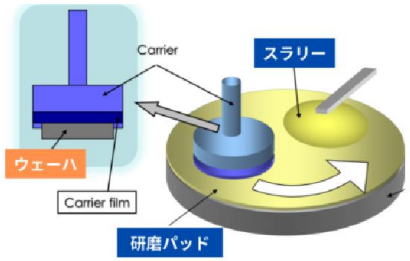
シリコンに3価の物質（ホウ素B等）を不純物として添加すると、Si原子との結合に不足している電子が1個あるため、他のSi原子から電子を奪い取る。
この不足した箇所は正孔と呼ばれ、自由電子と同じよう正孔は結晶内を動き回る。
正孔が過剰になることで電気が流れやすくなる

出典：東芝デバイス＆ストレージ株式会社HP　参照

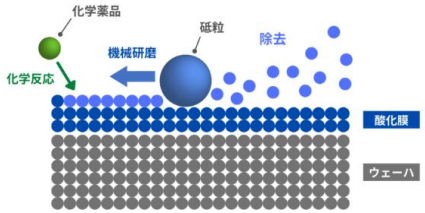
4. 半導体製造の前工程：CMP

製造過程	製造方法	
CMP (平坦化)	• 平坦化はCMP装置により、シリコンウエハを回転させ、液状の研磨剤を流しながら研磨パッドに押し付けて、シリコンウエハ上の絶縁膜や金属膜を研磨し、ウエハ表面を平らにする。 • CMPにより、配線の断線、信頼性(※)の劣化、性能の低下等を防ぐことができる。 • CMPでは化学薬品と砥粒を含むスラリーで、**化学的作用**と**機械的作用**を用いながら研磨する。化学的作用によってウエハ表面を変質させることで、研磨剤単体で研磨する場合に比べ、加工速度や品質を向上させている。 ※信頼性：部品やシステムが使用条件下で、意図する期間中、その機能を正しく遂行する性質	
	化学的作用 (ケミカル)	• 化学薬品で研磨表面を変質・溶解させることで、砥粒による機械研磨をアシスト
	機械的作用 (メカニカル)	• スラリーに含まれる砥粒による物理的作用で表面を研磨

イメージ図



図：CMPの様子

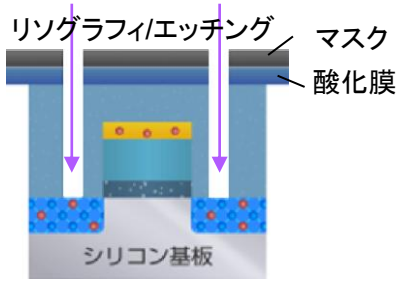
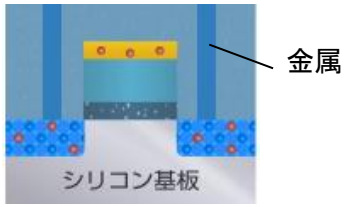
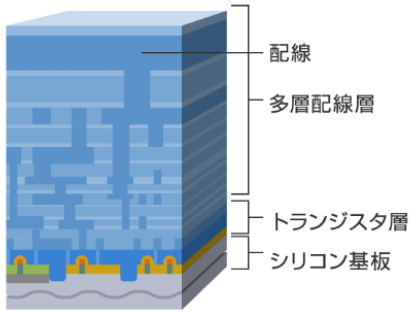


図：CMPの原理

電極形成工程へ続く

出典：アンカーテクノ株式会社、菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、Semi journal「半導体洗浄工程とは？洗浄装置の構成と種類」　参照

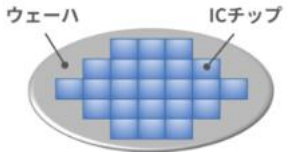
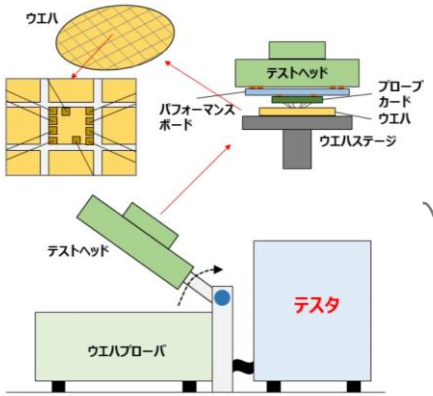
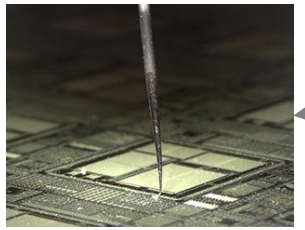
4. 半導体製造の前工程：電極形成

製造過程		製造方法	イメージ図
電極形成	STEP 1	• リソグラフィ(マスクとUV光)とエッチングを用いて、**酸化膜にコンタクトホール(穴)**を形成する。	
	STEP 2	• **コンタクトホールに金属を埋め込み**、電極を構成し、余分な膜を取り除く。 • 金属が埋め込まれることでチップ内部と外部を電気的に接続するための通り道ができる。	
配線		• 成膜、リソグラフィ・エッチングを繰り返し、**素子間を配線する層を積み重ねて配線のための回路を完成**させる。(右図の「多層配線層」を製造する工程) ※　金属配線の形成や加工作業が主となるため、その意味で**「メタライズ」**とよぶこともある • 配線においては**アルミニウム**が主に使用されてきたが、半導体の微細化にともない、微細な回路で十分な電気特性を提供し、なおかつ低コストを維持する材料として近年は**銅**が採用されている。	

ウエハ検査工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、日立ハイテク HP、NIHON POLYMER HP　参照

4. 半導体製造の前工程：電気特性検査

製造過程	製造方法	イメージ図
ウエハ検査	• ウエハ上に作られたICチップの電気的特性を確認するため、電気特性検査を実施する。 • 電気特性検査では、テスターとプローブ(探針)を用い、テスタは検査する半導体の種類によって使い分けられる。	
	STEP 1 • ICチップ１個１個をステージ上にのせる。	
	STEP 2 • 次にプローブを当て(右図写真)、プローブに接続されたテスターでチップを測定して、「チップの良・不良」を判定し、不良チップにはわざと打傷などをしてマーキングを行う。 • ICチップにある信号波形を入力した場合に、ICが出力してきた信号波形をあらかじめプログラムした理想的な信号波形と比較することで、電気特性の合否判定を行う。 • ICチップから信号波形が得られない場合も、不良品となる。	

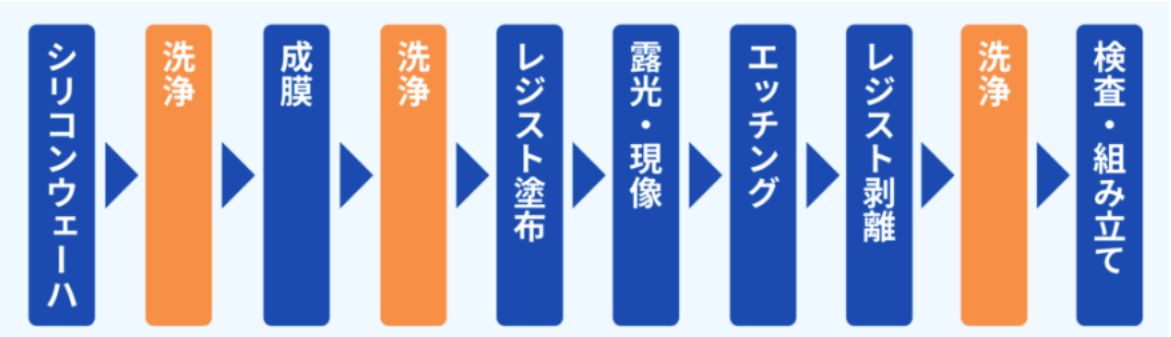
後工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、日立ハイテク HP、半導体業界ドットコム、KEYENCE HP　参照

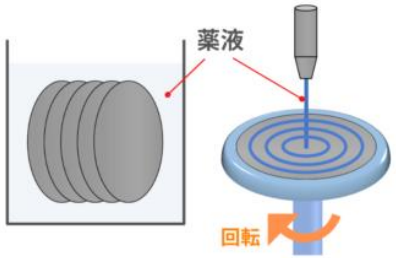
4. 半導体製造の前工程：洗浄・乾燥

製造過程	製造方法	イメージ図
洗浄・乾燥		

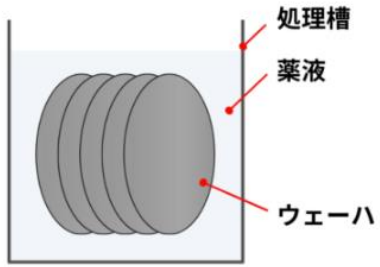
- 半導体洗浄とは、半導体の表面から有機物や汚染物質、付着物（パーティクル）などの不要なものを除去する工程である。そして、ウエハの酸化を防ぐため、洗浄後は乾燥工程までセットで実施される。洗浄・乾燥工程は半導体の品質・信頼性の担保のために非常に大事な役割を担っており、半導体の製造工程数が500以上ある中、その30%～40%を洗浄工程が占める。
- 洗浄では超純水洗浄と薬液によるウェット洗浄(右図)がある。それぞれを実施し、乾燥することでこれまでの工程で発生したごみ等を取り除き、ICチップの信頼性を高めている。



図：洗浄・乾燥の実施タイミング



図：回転するウエハに薬液を散布し1枚ずつ洗浄する場合



図：処理槽に多量のウエハをつけて洗浄する場合

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、Semi journal「半導体洗浄工程とは？洗浄装置の構成と種類」、株式会社TDC HP 参照

第5章

半導体の製造方法　④後工程

5. 半導体の製造方法：後工程の概観

マスク製造

フォトマスク作成
ウエハ上に描く回路のパターンを設計し、転写するためのフォトマスクを作成する

ウエハ加工

ウエハ製造
高温で溶かしたシリコン融液に種結晶と呼ばれる単結晶の小片を接触させ、徐々に引き上げて円柱状のインゴットを成長させ、インゴットを円盤状に輪切りにする

前工程

成膜
シリコンウエハ上に絶縁膜、導電膜、半導体膜などの薄膜を様々な装置と材料を用いて形成する

リソグラフィ
薄膜上にフォトレジストを塗布し、露光機によりフォトマスクを通して光を当てた後、現像してフォトマスク上のパターンをフォトレジストに転写する

エッチング
フォトレジストパターンをマスクにして、下地の薄膜を部分的に除去し、薄膜のパターンを形成する

イオン注入
導電型不純物イオンをシリコンウエハ表面近傍やシリコンウエハ上に形成された半導体膜に部分的あるいは全面に打ち込む

CMP
リソグラフィにおけるパターン解像度を上げ、配線の段差被覆性を改善するために、ウエハ表面を完全に平坦化する

電極形成
穴をあけた後、電極金属を堆積し、外部との電気的な接続が可能となるようにする

繰り返し
(実施しない工程もある)

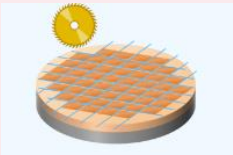
ウエハ検査工程

電気特性検査
ウエハに形成された数百個のチップの全てに対してプローブと呼ばれる針を接触させて電気的に問題ないかを検査する

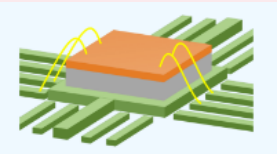
後工程

組立工程

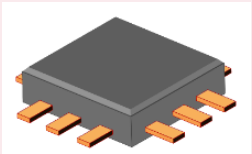
裏面研削・ダイシング
チップを搭載するパッケージの高さを抑え、シリコン基板の電気抵抗を下げる裏面研削の後、ダイシングでウエハを1枚1枚のチップに切り分ける



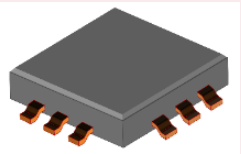
マウント・ボンディング
リードフレームと呼ばれる金属の枠にチップを固定し（マウント）、チップ上の引き出し電極とリードフレームを金細線で接続する（ボンディング）



封止
ボンディングが終わったチップを包むように樹脂封止機を用いて熱硬化性樹脂で封止する

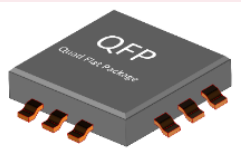


リードメッキ・リード成形
樹脂に覆われていないリード部にハンダなどでメッキするとともに、リード加工機を用いてリード線を必要な形状に加工



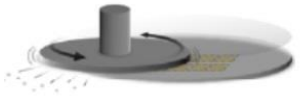
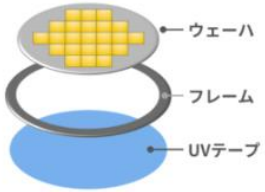
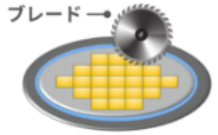
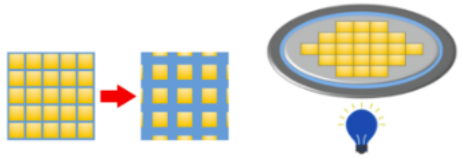
検査・選別工程

検査・選別
テスターを用い、製品規格に照らして良品か否かを検査・判定



出典：株式会社 ハマエンジニアリングHP、Semi journal「【図解】半導体製造工程の流れ」 参照

5. 半導体製造の後工程：裏面研削・ダイシング

製造過程		製造方法	イメージ図
裏面研削		• ウエハ表面にパターンが完成した後、そのウエハの裏面全体を研削し、厚さを薄くする。裏面研削を行うことでICチップの高密度実装が可能になる。	
ダイシング	STEP 1	• ダイシングでは、裏面研削済ウエハを、紫外線を照射すると粘着力が弱くなる特殊なUVテープに貼り付け、フレームに固定する。	
	STEP 2	• ウエハ上に縦横に配置されたチップ同士の間はスクライブ線と呼ばれる切りしろがとってあり、基板領域表面に露出されているため、この線に沿ってダイヤモンド粒子を表面に張り付けた極薄の円盤刃でカットする。(ダイシング)	
	STEP 3	• ダイシングが終わり、特殊な治具でUVテープを引き伸ばすと、カットされたチップは一緒に引っ張られて隙間ができる。ここでウエハの裏面から紫外線(UV光)を照射すると、UVテープが光化学反応(重合反応)を起こして、粘着力が落ち、チップをテープから簡単にピックアップでき、取り扱いが容易になる。	
	STEP 4	• 最後に顕微鏡でICチップの欠けや傷などの外観チェックが行われ、欠陥が見つかったチップは取り除かれ良品チップのみが残る。	

マウント工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、大塚電子株式会社 HP 、Semi journal「【ダイサー】ダイシングとは？工程フローと原理」 参照

5. 半導体製造の後工程：裏面研削・ダイシング

5章：半導体の製造方法					
後工程					
関連する主な学部学科					
化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

使われていた知識

高分子・重合反応

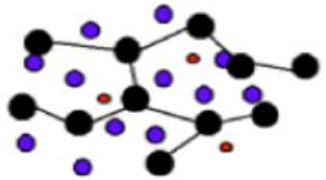
内容

- 高分子とは、分子量が10000を超える化合物で構成された分子量の高い分子のことで、「高分子化合物」の通称名であり、ポリマーとも呼ばれている。
- 分子の中でも、繰り返しつなげることができる比較的小さな分子からなる化合物を「モノマー」といい、それらを繰り返しつなげる「重合反応」により、たくさんのモノマーがつながった「ポリマー」ができる。

UV照射による重合反応

照射前の状態

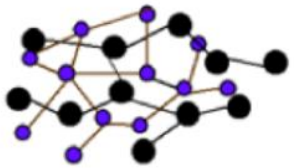
粘着剤層は柔軟であり、被着体表面に容易に馴染むことができ、UVテープの粘着剤層は、**強い粘着力を有する**



UV照射

照射後の状態

オリゴマー間で重合反応が起こり、新しい網目構造が形成される。
その結果、**粘着剤層は二重の網目構造**となって硬化し、**粘着力が低下する**。

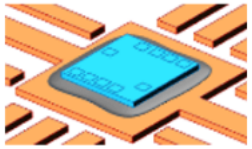
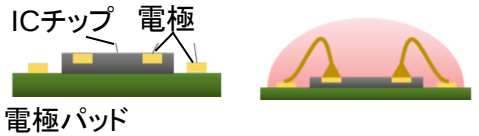


※UVテープの粘着剤の材料として、ベースポリマー、オリゴマー、光開始剤が一般的に使われる

：ベースポリマー
：オリゴマー
：光開始材

出典：キーエンスHP、ThreeBond HP、古河電工HP　参照

5. 半導体製造の後工程：マウント・ボンディング

製造過程	製造方法	イメージ図
マウント	• ダイシングで「良品」と判定されたチップは別々のパッケージケースに収められる。そして、良品チップの1個1個をパッケージのアイランド部に貼り付けるため、マウントが行われる。マウントの中で主に使われるのが樹脂マウントである。	
	STEP 1 • 銀メッキされたリードフレームのアイランド部の温度を常温から250℃にあげる。	リードフレーム ↑ 加熱 ↑
	STEP 2 • 熱硬化性樹脂である導電性の銀ペーストをアイランド部に流し込みながら、UVテープ状に並べられたチップを上から軽く押し付けることで接着固定させる。	↓ 加圧 ICチップ 銀 銀 リードフレーム
ボンディング	• マウント済のチップはICチップと外部との電気信号のやり取りを可能にするため、チップの表面周辺部に配置された電極パッドとボンダーと言われる装置を用いて、金やアルミニウムなどの細線で接続する。(ワイヤーボンディングという) • 他にも、反転（フリップ）させたICチップを電極パッドへ熱圧着、もしくは超音波圧着することで、電極同士を直接接続するフリップチップ実装という方法がある。この方法では、半導体ウエハの電極部にはんだバンプ（突起）を形成させておく必要があり、その作業工程を半導体はんだバンプ加工工程という。	 ワイヤーボンディング フリップチップ実装

封止工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、Wave Technology HP、（株）ピーバンドットコムHP、京セラHP　参照

5. 半導体製造の後工程：マウント・ボンディング

関連する主な学部学科

化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

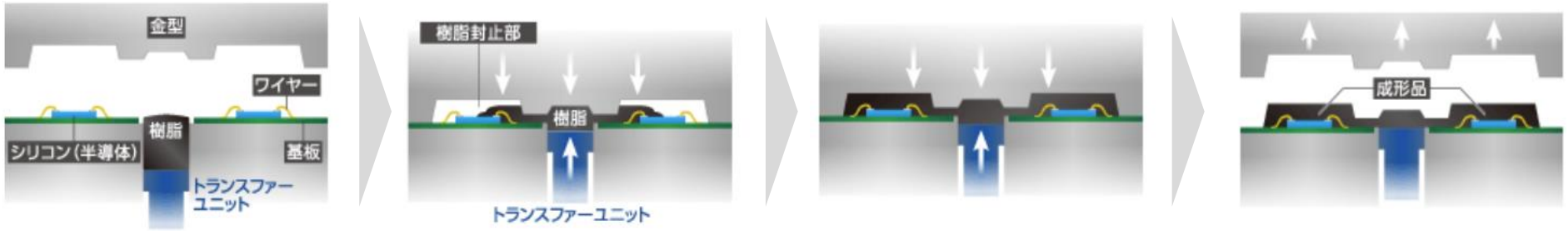
使われていた知識	内容
熱硬化	• 熱硬化とは、加熱により物質の状態を硬化させることである。 • 熱硬化性樹脂とは、加熱することで重合反応が進み、三次元の網目構造を形成して硬化する樹脂のことであり、一度硬化すると、再び加熱しても軟化せず、どんな溶媒にも溶けない性質をもつ。 • そのため、耐熱性や機械的強度が高く、形態安定性や耐溶剤性にも優れている。

出典：中原化成品工業HP　参照

5. 半導体製造の後工程：封止

製造過程	製造方法
封止 (モールディング)	• ICチップが傷つかないように、特殊な樹脂を用いてリードフレームのICチップが載っている部分を熱硬化性樹脂で包み封止する(モールディングという)。モールディングの方法は大きく分けて「非気密封止」と「気密封止」に分類される。
	気密封止 • ICチップを**外部気体や液体から完全に隔離・密閉**する封止方法。高信頼性だが高価である。
	非気密封止 • ICチップを**ある程度外部気体・液体から隔離**する封止方法。水分などを完璧に排除できないが、安価である。 • 現在の主流は気密封止法の中の**金型モールド法**であり、これは「金型にICチップを設置し、溶融樹脂を流し込んだのち硬化させるモールディング法」である。 • さらに、金型モールド法はトランスファー方式とコンプレッション方式に分類され、下図に**トランスファー方式**を説明している。

モールディング(トランスファー方式)の過程詳細



金型上にワイヤーで配線済みの、集積回路が組み込まれたICチップを置き、特殊なエポキシ樹脂を装填する

数十トンの力で上下の金型を締めた後、トランスファーユニットにより押し上げられた樹脂が金型の温度(180℃)で液状になり、封止部へ流れ込む

細いワイヤー(配線)を曲げないように、そして気泡が残らないよう、ゆっくりと確実に樹脂を流し込み、樹脂が硬化するまでしばらくその状態を保持する(※)

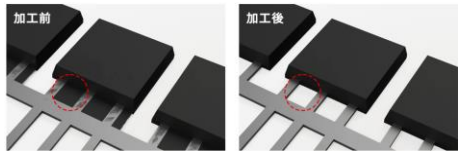
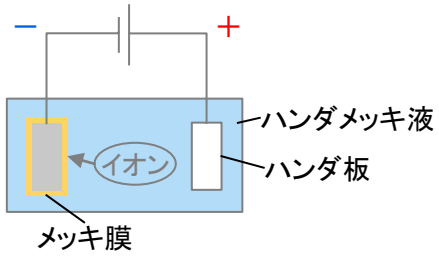
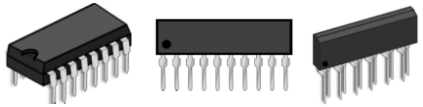
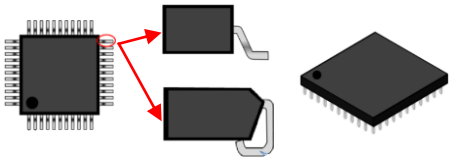
金型が開き成形品を取り出すと、金型表面を自動クリーニングし、封止工程が完了する

※エポキシ樹脂は熱硬化反応をおこす性質を持つ

リードメッキ工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、Semi journal「【半導体】モールディング(封止)とは？」、IPEX HP 参照

5. 半導体製造の後工程：リードメッキ・リード成形

製造過程		製造方法	イメージ図
リードメッキ	STEP 1	• モールディングでリード部分についた余分な樹脂を剥離する。	
	STEP 2	• 樹脂に覆われていないリード線の部分に**電気メッキ**によりハンダを付着させる。こうすることでプリント基板への実装を容易にし、リードの曲げなどの加工強度が上がる。	
リード成形		• 最終的な形に応じてリード線を曲げて加工し、必要な形状にする。加工された後の形は、プリント基板への実装方法によって大きく「挿入実装型」「表面実装型」という2つの形に分かれる。	
	挿入実装型	リード端子が下に向いており、プリント基板上の銅配線のランド部に穿たれた開口に<u>**差し込みハンダ付け**</u>することでICを固定するとともに電気的接続をとる。	
	表面実装型	リード端子が外側にフラットに曲げられたものや、パッケージに絡ませるように内側に曲げたものがある。これらはプリント基板上に実装する際、所定の銅配線部に<u>**ICの各リードの位置を合わせて載せた状態でハンダ付け**</u>を行い、ICを固定するとともに電気的接続をとる。	

検査・選別工程へ続く

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」 不二製作所HP、Electrical Information「【半導体のパッケージの種類】どのパッケージがどの形を表すの？」 参照

5. 半導体製造の後工程：リードメッキ・リード成形

5章：半導体の製造方法					
後工程					
関連する主な学部学科					
化学	物理	電気電子	機械	情報	その他理系 等

使われていた知識	内容
電気分解 (陰極反応/陽極反応)	

- 電解質の溶液に電極を差し込み電流を流したとき、その電気エネルギーによって電極と溶液の間で酸化還元反応を起こし、電解質が分解される現象のことを電気分解という。
- 電池の正極は導線から電子が流れ込む電極であることから、陽極では電子が奪われ、酸化反応が起こる。
- 電気メッキでは直流電流を流すと陽極の表面で電子が放出され、金属イオンとして水溶液中に溶け出す。よって、**メッキ膜にしたい金属等をプラス極（陽極）**に配置する。（図1 陽極反応）
- 電池の負極は導線に向かって電子が流れ出し、陰極では電子が与えられ、還元反応が起こる。
- 電気メッキでは溶液中に存在する金属イオンが電子を受け取って金属として析出し、メッキが施されていく。よって、**メッキしたい製品を陰極に配置**する。（図2 陰極反応）

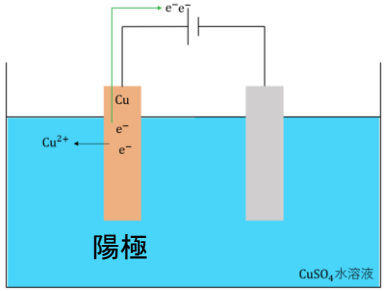


図1 陽極反応

陽極反応(化学式)

$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

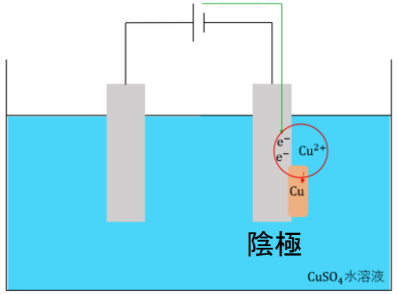


図2 陰極反応

陰極反応(化学式)

$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

(参考)プリント基板	プリント基板（PCB）は、絶縁体で作られた一般的には緑色の板状の部品を指し、その表面や内部に銅箔で配線が施される。また表面に半導体やコンデンサ、 コネクタなどの多くの電子部品をハンダ付けすることで、電子回路が完成する。

出典：プラスチックスジャパンドットコムHP、安曇川電子工業株式会社HP、理系ラボ「電気分解まとめ」 参照

5. 半導体製造の後工程：検査・選別

製造過程		製造方法	イメージ図
検査・選別	STEP 1	• 組み立て済のICに電圧と温度をかけることで、加速試験を実施する。(検査機械のイメージは右図) • 製品を通常よりも過酷な条件下に置くことで、短時間で製品の寿命を検証する。	
	STEP 2	• その後最終検査として、環境試験(検査機械のイメージは右図) 、長期寿命試験などの信頼性試験を行い不良品を取り除く。 　• 製品検査(電気的特性検査・外観検査など) 　• 信頼性検査(環境試験・長期寿命試験など)	

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」「半導体産業のすべて」、日本半導体製造装置協会HP、AZ Science HP、HIOKI HP、シーマ電子株式会社 HP　参照

第6章

半導体の製造ライン

第6章

半導体の製造ライン　①製造ラインの構築

関連する主な学部学科

化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

1. 製造ラインの構築：工場建設

半導体工場の建設にあたっては、工場のレイアウト設計から、装置・設備の仕様設計、インフラ環境の整備等、入念な設計・計画を行う。また、半導体を安定的に製造するために、工場の建設に適した立地条件についても検討を行う必要がある。

工場建設・稼働に向けた検討事項（例）

建屋関係	新棟の企画・設計
	工場内のレイアウト設計
	クリーンルームの環境整理・管理
	インフラの計画・管理
装置関係	製造装置や付帯設備の使用設計
	搬送システムの設計
	各装置の搬入・立ち上げ
	継続的な稼働率・生産性の改善

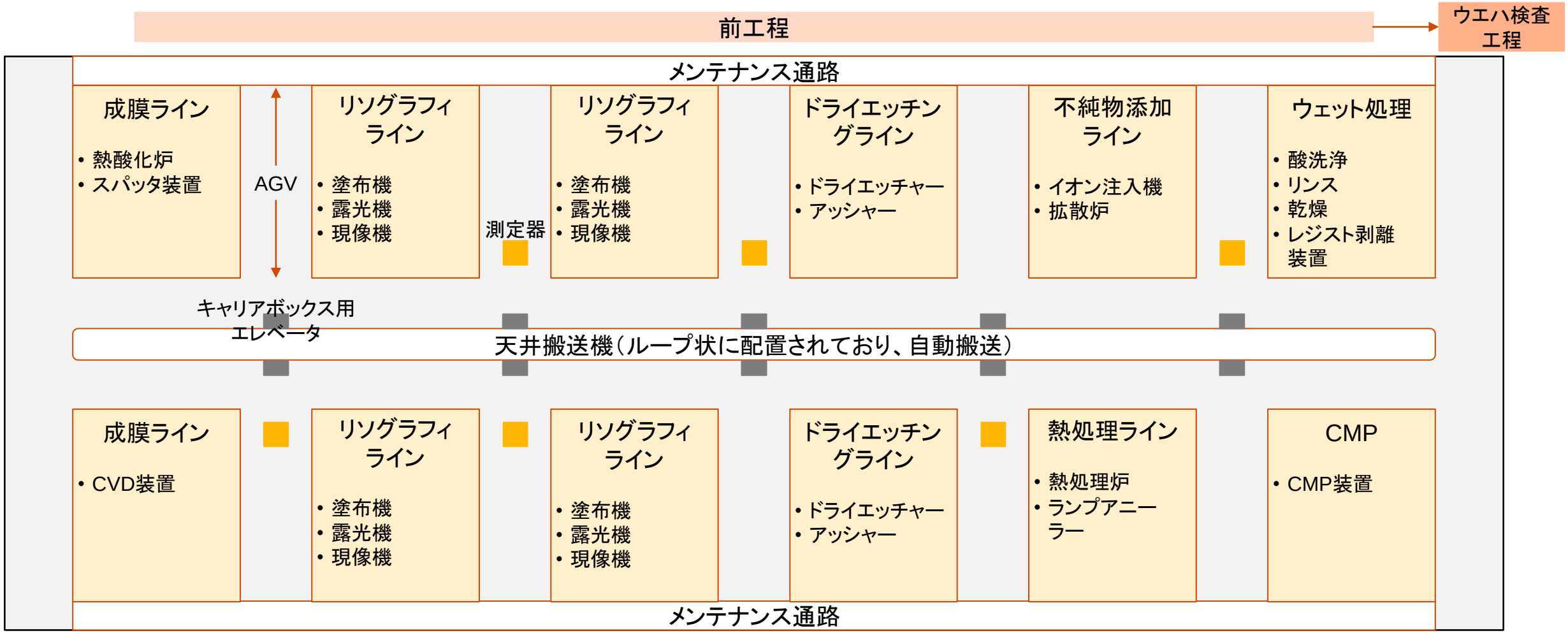
工場の立地条件

水	• IC製造には大量の超純水が使用される。300ミリのシリコンウエハを月に1万枚製造する場合、1日の超純水の使用量は3,000トンにもなる。 • 超純水には回収水も使われるが、立地にあたっては、工業用水や地下水、河川水等の水源が必要になる。
電気	• 電力も、1日に約90万kWhという大量の電力が消費され、用途としては、生産設備に50%、空調熱源関係に40%、その他排水設備等に10%が使用される。 • 精密設備・装置だけに、停電が起きると復旧に日数がかかるため、電力の安定供給も求められる。
交通 インフラ	• 半導体デバイスは軽薄短小であり、国内外に出荷されるため、輸送には一般的に自動車と空路が使われる。そのため、高速道路や空港に近いことも、工場建設にあたって望ましい条件になる。

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」参照

1. 製造ラインの構築：製造ラインの概観

製造ラインでは、第5章で記述した各製造工程の装置群が並び、自動搬送機（AGV）や天井搬送機を使って、ウエハを収納したキャリアボックスを移動させている。



出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」参照

関連する主な学部学科

化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

1. 製造ラインの構築：製造ラインの概観

前工程からウエハ検査ラインを経て、第5章で前述した後工程（裏面研削～検査・選別）へと進み、完成したものがクライアントや半導体商社に出荷されていく。

前工程 → ウエハ検査工程 → 後工程

裏面研削ライン
- 裏面研削機

ダイシングライン
- ダイサー
- 顕微鏡

ボンディングライン
- ボンダー

メッキライン
- ハンダメッキ槽

リード成形ライン
- リード成形機

検査・選別ライン
- ハンドラー
- テスター

ウエハ検査ライン
- プローバ
- テスター
- レーザートリマー
- 顕微鏡

マウントライン
- マウンター
- 顕微鏡

封入ライン
- 封入機
- トランスファー・モールド機

捺印ライン
- レーザー捺印機
- 印刷捺印機

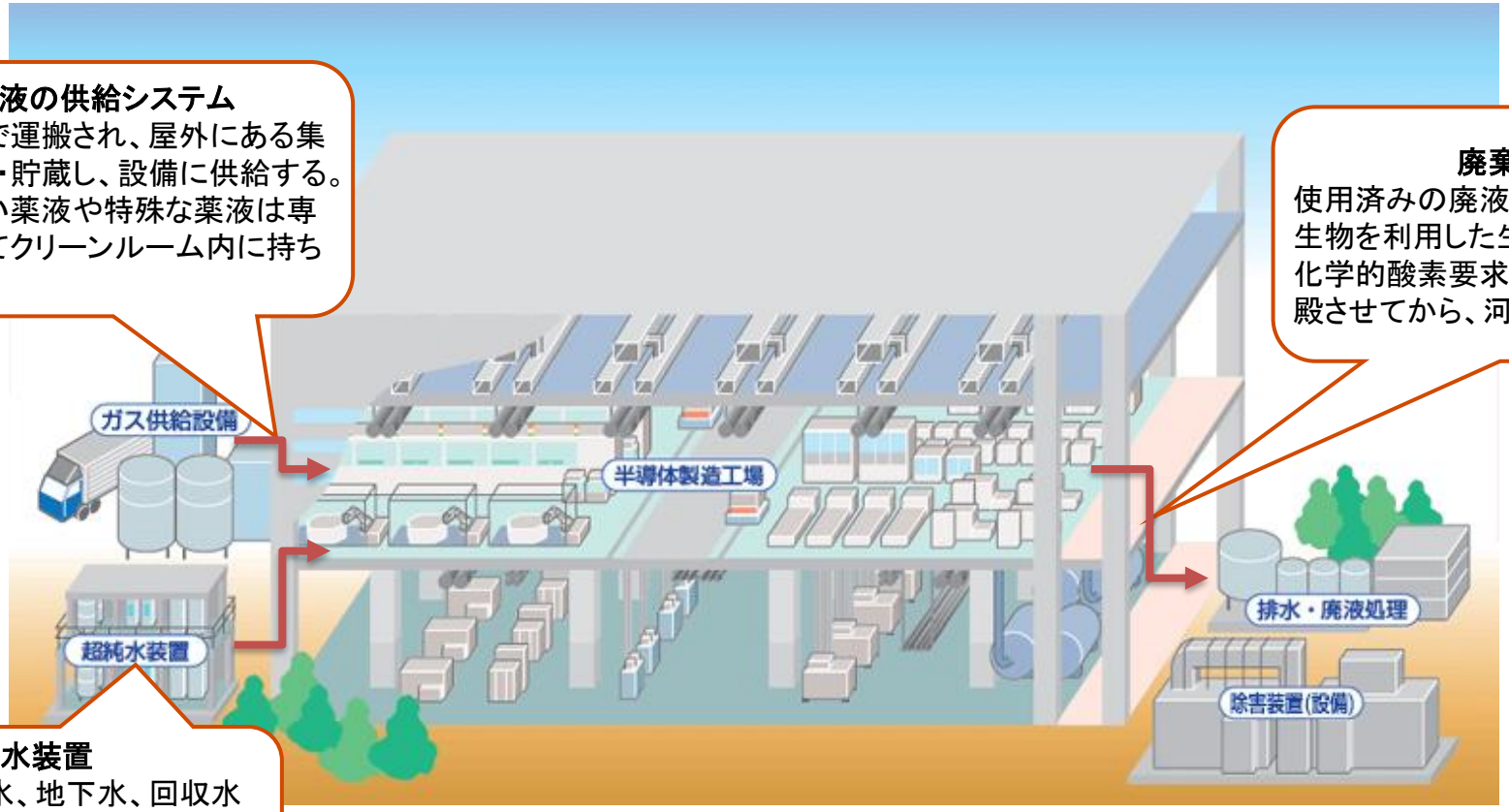
信頼性試験ライン
- バーンイン装置

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」参照

1. 製造ラインの構築：薬液・ガス供給・廃棄システム

前述した製造ラインに対して、製造時に必要となる様々な薬液やガス、超純水を供給するとともに、使用済みの薬液・ガスを廃棄するためのシステムを構築している。

ガス・薬液の供給システム
タンクローリーで運搬され、屋外にある集中タンクに補給・貯蔵し、設備に供給する。使用量が少ない薬液や特殊な薬液は専用容器に入れてクリーンルーム内に持ち込まれる。



廃棄システム
使用済みの廃液は中和処理の後、微生物を利用した生物処理で有機物や化学的酸素要求量を除き、残留物を沈殿させてから、河川等に放出。

超純水装置
工業用水や河川水、地下水、回収水を原水として、原水の水質に応じて複数の工程を経て不純物・有機物を除去し、設備に供給する。

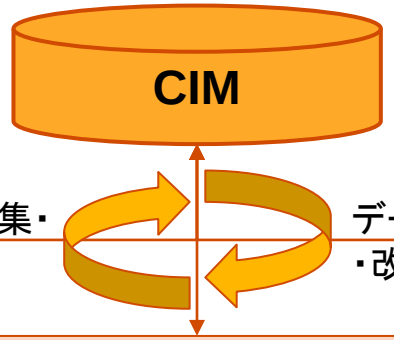
出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」、三菱電機HP　参照

関連する主な学部学科

化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

1. 製造ラインの構築：製造ラインを支えるITシステム

半導体生産工場では、CIM（Computer Integrated Manufacturing）と言われるシステムを使い、半導体生産の効率、品質の向上を実現している。



データを収集・蓄積・分析

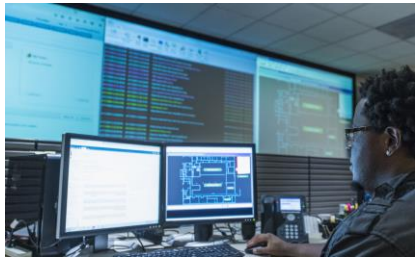
データを活用・改善

生産制御（条件指示、実績報告、搬送指示）

生産ラインに流れるICの全製造工程に関する作業条件がコンピュータからネットワークを介して生産設備にダウンロードされるようになっており、製品が仕掛かると条件指示に従って自動的に作業が実行される。

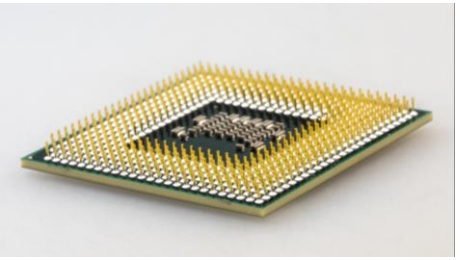
生産管理（日程管理、進捗管理）

製品の製造計画や作業計画に関する日程管理、製造ラインに流れている製品ロットの作業順に関する優先度付けと進度管理、各工程での製品仕掛についての状況管理、設備管理等を行う。



品質管理（日常管理、傾向管理、設備管理）

製造工程の各チェックポイントで収集される膨大なデータをコンピュータに統計的に処理・判断を行うことで、異常の検出と対応、原因の究明と対策を迅速に行い、高い歩留まりと安定した品質の確保に繋げている。



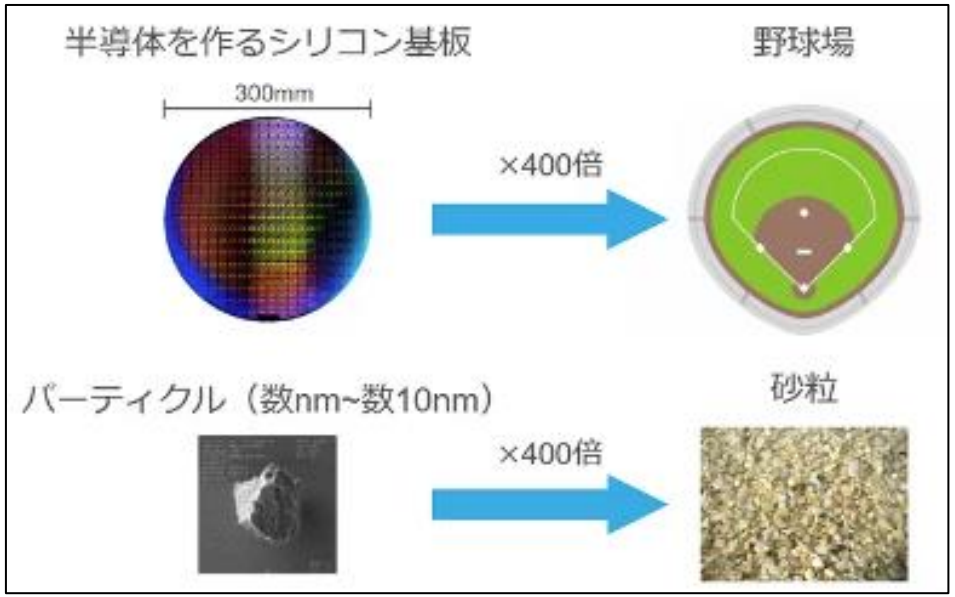
出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」参照

1. 製造ラインの構築：クリーンルームとは

現在の半導体回路の加工サイズは数ナノメートルから数10ナノメートル程度であり、半導体製造装置内で、半導体をつくるシリコン基板上に、ウィルスより小さいナノサイズの塵(パーティクル)が落ちただけで不良品発生の原因となる。

- 不良品の原因となる微細なパーティクルの発生を防ぐことは、野球場に数10ミクロンの砂粒一つ落ちていない状態にすることと同じくらい難しい。
- そのため、半導体デバイスの製造では、パーティクルを発生させないために、高精度フィルター等を用いて空気を清浄化させたクリーンルームが必要となる。

半導体製造におけるパーティクルのイメージ



空気中の様々な粒子の大きさ

粒子（パーティクル）	大きさ（粒径）
タバコの煙	10nm～1μm
黄砂	4～8μm
スギ花粉	30～40μm
細菌	100nm～80μm
ウイルス	50～200nm
水分子	100Å

μ（micro）：10^{-6}
n（nano）：10^{-9}
Å（angstrom）：10^{-10}

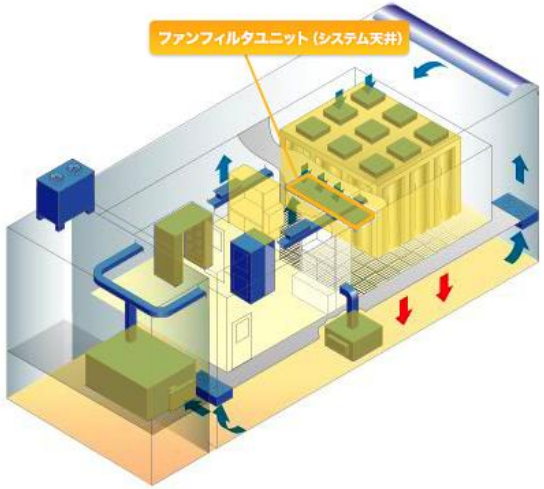
出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」、東京エレクトロンHP　参照

1. 製造ラインの構築：クリーンルームとは

クリーンルームでは、パーティクルを「持ち込まない」「発生させない」「堆積させない」「排除する」べく、様々な工夫がなされている。また、クリーンルームに入る作業者もパーティクルを持ちこまないための工夫を行っている。

高精度フィルター

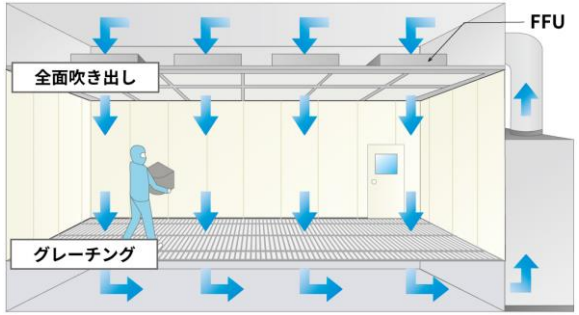
HEPAフィルター	• 粒径が0.3μmの粒子に対して99.97%以上の捕集率を持つもの
ULPAフィルター	• 粒径が0.15μmの粒子に対して99.9995%以上の捕集率を持つもの



空気循環の仕組み

非一方向流方式	• 天井の吹き出し口から給気され、床、壁の一角に設けれられた吸込口から環気をとる方式
垂直一方向流方式	• 天井全面にHEPA/ULPAフィルタを並べて吹出口とし、床下全面を吸込口とし気流を垂直一方向に流す方式
垂直一方向流方式	• 壁一面にHEPAフィルタを並べて吹出口とし、対面の壁または天井面を吸込口として水平方向に均一な気流を作る方式

例：垂直一方向流方式



クリーンルーム入室時の準備

- クリーンルームに入室する前に、着衣からでる埃や、呼吸に含まれるダスト、汗に含まれるイオン等のパーティクルや不純物が入らないように準備を行う。
- 着替え後はエアシャワー室を通り、全身のゴミ、塵、埃を落とす。

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」、蒲田工業HP、ヤマシンフィルタHP　参照

第6章

半導体の製造ライン　②製造ラインの調整・メンテナンス

2. 製造ラインの調整・メンテナンス：装置導入の流れ

デバイスメーカーが製造ラインに装置を導入する際には、デモ機による試験評価を踏まえ装置の要求仕様を作り、自社にチューニングした形で装置の製造を依頼している。
装置製造後は装置メーカーがクリーンルームへの搬入から基本性能の確認までを行う。

【製造ラインへの装置導入の流れ】

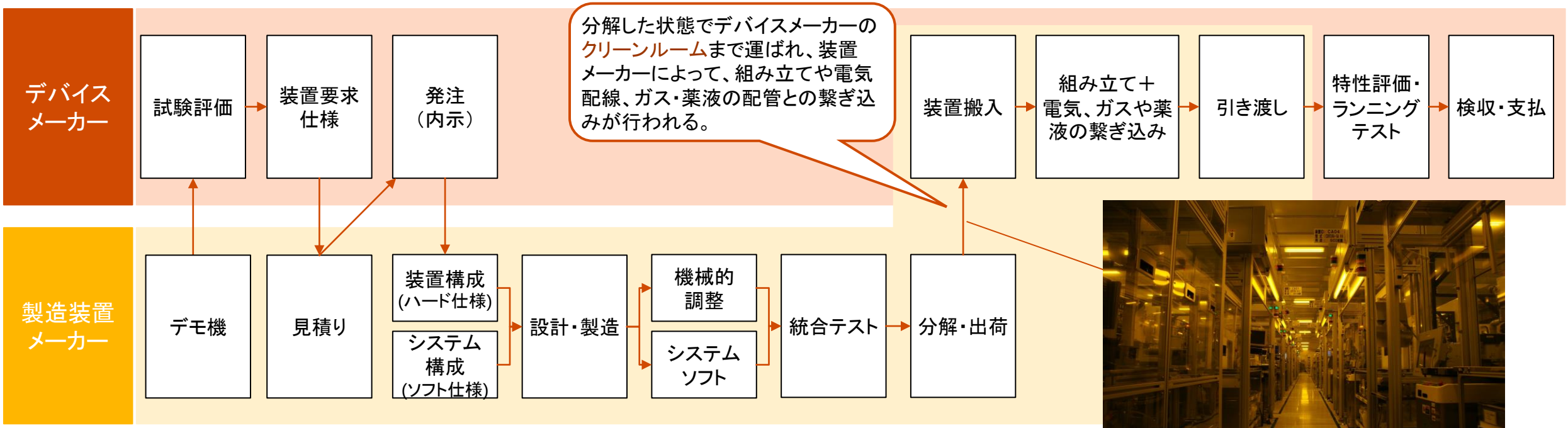


写真:クリーンルーム内

出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」参照　東芝デバイス＆ストレージ株式会社様の提供により作成

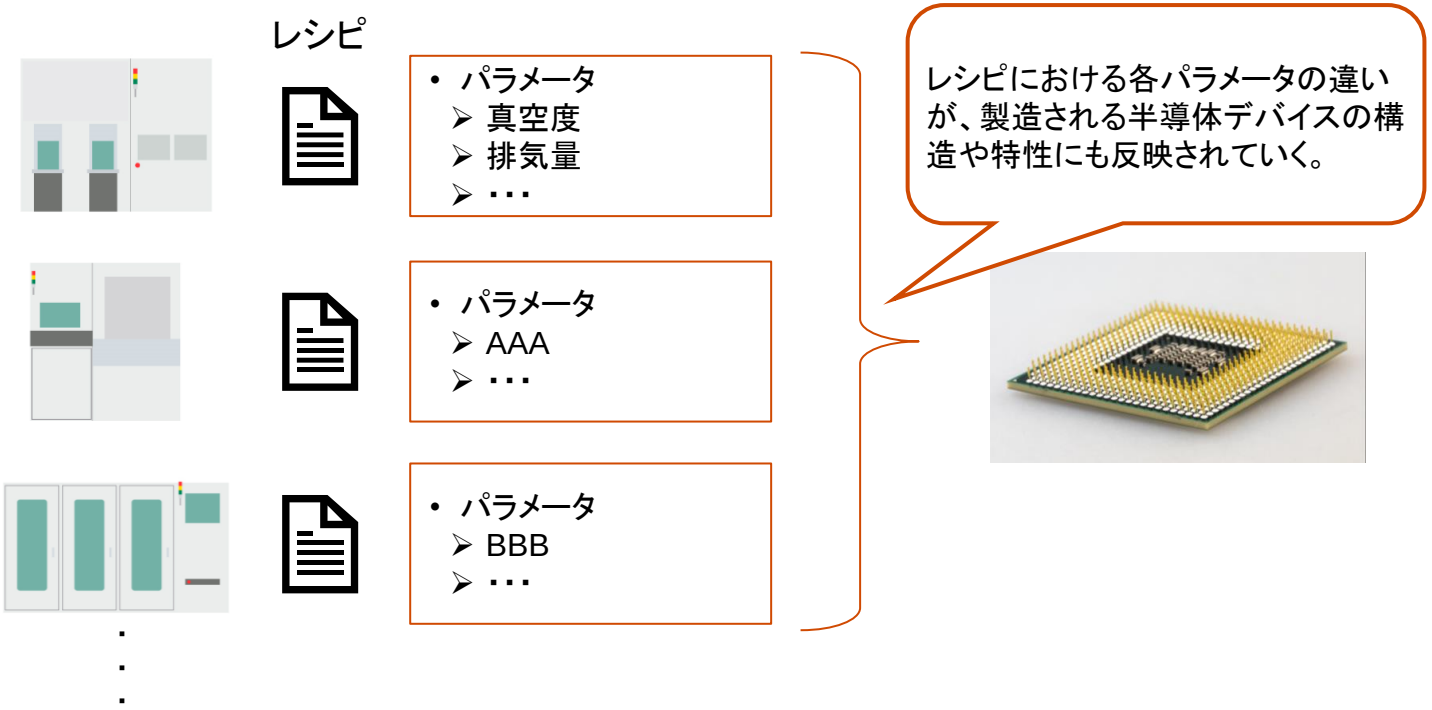
関連する主な学部学科

化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

2. 製造ラインの調整・メンテナンス：レシピ調整

同じ装置を使えば、同じ半導体デバイスが製造できるとは限らない。そのため、処理する半導体デバイスの種類や微細化のレベル、他プロセスとの組合せ等によって、必要な形状や特性が得られるように実験・検討を行い、各装置のチューニングを行っている。

- レシピ：製造装置に対する命令・設定と、パラメータのセットで、ウエハの処理条件を決定するもの。
- パラメータの例（エッチング工程）：真空度、排気量、用いるガスの種類、ガスのチャンバーへの導入量、電極の温度　等



出典：菊地正典著「半導体工場のすべて」参照

関連する主な学部学科

化学	物理	電気 電子	機械	情報	その他 理系 等

2. 製造ラインの調整・メンテナンス：装置のメンテナンス

マイクロメートルやナノメートルといった精度が求められる半導体では、手作業による製造が難しいため、精密な製造装置が用いられている（1台数百億円を超える装置も存在）。そのため、半導体製造装置の保守・保全を担い、正常に稼働させるためのサポートも重要となる。

製造装置の定期メンテナンス

半導体製造装置は、ハード・ソフト・薬液・電気・ガスなどを扱う多種多様なパーツによって構成されている。装置が年中稼働することでパーツが汚染・消耗すると、製品不良や装置エラーの原因となるため、定期的なメンテナンスが必須となる。具体的な作業としては、工具を使って各パーツを外し、装置内の清掃やパーツの交換・補修を行い、作業終了後に正常稼働の確認等を行っている。

製造装置のトラブル対応・修理・改善・改造

製造装置に故障・トラブルが生じた際には、その原因を突き止め、迅速に修理を行う。ソフトのエラーやパーツ同士の相性が悪いなど、根本的な部分に原因がある場合は、システムや装置の改善・改造などにも対応する。安全衛生、機械、電気、ソフト等幅広い知識と経験が求められる。

出典：株式会社旭製作所 HP、菊地正典著「半導体工場のすべて」 参照

コラム

半導体業界での働き方

1. 半導体業界の業務

半導体産業では技術開発業務、技術開発を支える管理業務、営業等の業務がある。

			業務内容
技術系	研究開発業務		コア技術をもとに、今後求められるであろう半導体デバイスや回路構成等を生み出す。
技術系	製造・製品開発業務	回路設計	設計ツールを用いて電気回路や論理回答等の回路設計を行う。また、半導体の性能検討、品質の検査プログラム検討を行う。
技術系	製造・製品開発業務	デバイス開発	新規デバイスの企画構想や構造設計を行い、そのデバイスが顧客の所望する特性を得られているか、製造が可能かをシミュレーションする。 プロセス開発担当者と協力してデバイス製造の工程も設計し、検査を通して不備があった場合は、原因を解析して改善を繰り返す。
技術系	製造・製品開発業務	プロセス開発	新規デバイス製造のための工程をつくる。量産を見据えて、成膜、リソグラフィ、エッチング等の工程を集めてプロセスフローとしてインテグレーションする。
技術系	検査・管理業務	量産	①生産管理：顧客からの要求数量に応じてウエハを工程に投入し、進捗を管理する。 ②生産技術：製造プロセスの生産性向上、コスト低減のための工程条件や製造装置の管理方法の変更、製造工程内の不具合にも対応する。 ③ファシリティ：半導体工場における電気や空調、水やガス、薬液の稼働監視、運用管理を行う。
技術系	検査・管理業務	品質保証	出荷する製品の品質が顧客からの要求を満たした状態になるようにし、維持されるように管理・保証する。 設計開発 (工程ごとの検証や電気特性検査を行う)、製造 (不良品が出ないように製造装置や製造環境を管理する)、製品出荷後の対応 (世に出た不良品を回収し原因解析し設計・製造工程にフィードバックする) といった業務がある。
管理系	法務業務		製造装置、部素材等の購入、他社への製造委託等の契約にあたって、契約書の作成や契約内容の確認、法的問題が起きた場合の対応を行う。
管理系	知財業務		新しく開発したデバイスや回路に関して、知的財産権の出願や管理を行う。
管理系	調達・購買業務		半導体製造に必要な製造装置や部素材を仕入れる。また、安定供給に向けた対応とコストダウン交渉や価格改定の要請を受けた時の対応を行う。
その他			半導体デバイス等の製品のマーケティング、プロモーション、技術業等を通して、売上に直結するように業務を行う。

出典：ずーぼ著「今と未来がわかる半導体」 参照

2. 半導体業界での給与・採用

01 中部地域の半導体関連企業　平均年収

中部地域の半導体関連企業(※)

※「中部地域半導体人材育成等連絡協議会」参加企業より概算

710万

半導体業界は

① パソコンやタブレットといった電子機器の使用が増え、半導体の需要が伸びていること
② 技術力の高い製品によって利益率が高いこと
③ 半導体に対する専門的な知識を持ち、組織のあらゆる階層で活躍できる人材が必要とされていること

等から年収が高い傾向にある

02 中部地域の半導体関連企業　採用サイト

中部地域の企業	事業概要	採用サイト
株式会社デンソー	主に自動車用の半導体の設計・製造・販売を実施	https://careers.denso.com/graduate/
東芝デバイス＆ストレージ株式会社	パワー半導体、アナログIC、ロジックIC、光センサー等半導体製品の開発・製造・販売を実施	https://toshiba.semicon-storage.com/jp/company/recruit.html
ウエスタンデジタル合同会社	NAND型フラッシュメモリーの開発・生産、およびフラッシュメモリー製品、ハードディスクドライブ製品の販売を実施	https://www.westerndigital.co.jp/recruit/
キオクシア株式会社	主にNAND型フラッシュメモリの開発・製造・販売を実施	https://graduates-jp.kioxia.com/
加賀東芝エレクトロニクス株式会社	ディスクリート半導体の製造及び販売を実施	https://www.toshiba-kaga.co.jp/recruit/
ユナイテッド・セミコンダクター・ジャパン株式会社	他社の設計を基に半導体チップを製造するファウンドリサービスの提供を実施	https://recruit.usjpc.com/recruit_info/
タワーパートナーズセミコンダクター株式会社	顧客の設計に基づいてアナログおよびミックスシグナル半導体の製造を実施	https://www.jp-tpsco.com/
イビデン株式会社	半導体製造装置用部材などの用途に使用されるグラファイト製品等の開発・供給を実施	https://ibiden-recruit.jp/

出典：各社 有価証券報告書, Openwork, Yahoo!Japanしごとカタログ, Indeed　参照

半導体人材育成プログラム
参考動画集

(参考動画リスト)

区分			動画コンテンツ名	参照先URL
2章	なぜ今半導体が求められているか	産業のコメと言われる理由	【半導体は21世紀の石油だ】クリス・ミラー氏『半導体戦争』の直言／日本・オランダ・アメリカの連携が重要／中国が半導体の輸入に石油の輸入と同額を費やす理由／GAFAMと半導体の深い関係	https://www.youtube.com/watch?v=M4_Q4nz7ofY
			「産業のコメ」半導体なぜ不足？【NEWS グラフィティ】	https://www.youtube.com/watch?v=jeDk36-P0w4
			TSMCと半導体戦争｜TSMCの歴史と重要性	https://www.youtube.com/watch?v=wM6wfzfUJO4
	世界における半導体産業の動向	半導体産業の構造	世界の半導体サプライチェーン東アジアに集中 米報告書が脆弱性を指摘	https://www.youtube.com/watch?v=D-q_wXTtiTY
			【半導体供給網の強化へ】日本とEU…協力推進の覚書を締結	https://www.youtube.com/watch?v=GmuABtJHdMk
			半導体巡る経済安保 日本の立ち位置は 供給網強化に対する中国の危機感とは【Bizスクエア】｜TBS NEWS DIG	https://www.youtube.com/watch?v=Y-mMwYsZT98&t=19s
		世界における半導体のプレーヤー	台湾の半導体大手「TSMC」が熊本県に第2工場建設を正式発表 運営会社「JASM」に「トヨタ」も出資｜TBS NEWS DIG	https://www.youtube.com/watch?v=6SYvD4LdI08
			韓国半導体拠点に68兆円投資　ソウル近郊に世界最大規模【WBS】（2024年1月15日）	https://www.youtube.com/watch?v=P70FLAeYcxI
			強まる対中半導体規制 ファーウェイ最新スマホに見る「自立自強」の限界【日経プラス9】	https://www.youtube.com/watch?v=45igQzA1hO0
			「世界シェア6割目指す」ソニーの半導体 その戦略に死角はないのか！？【橋本幸治の理系通信】（2023年12月8日）	https://www.youtube.com/watch?v=isZpXHZYSRs
			対中規制 日本も発動！ 中国規制外半導体に戦略シフトか!?【日経プラス9】（2023年7月24日）	https://www.youtube.com/watch?v=kTzUBtY_AW4
		半導体におけるグローバル動向	対中規制 日本も発動！ 中国規制外半導体に戦略シフトか!?【日経プラス9】（2023年7月24日）	https://www.youtube.com/watch?v=kTzUBtY_AW4

(参考動画リスト)

区分			動画コンテンツ名	参照先URL
2章	日本における半導体の政策動向	かつての日本の半導体産業	“最後の砦”を任された男…日の丸半導体復活への提言【ガイアの夜明け『あの主人公はいま』＃10】	https://www.youtube.com/watch?v=TBur4Uwaydk&list=TLPQMTkwMjIwMjTrM3Tzeeo72A&index=3
		現在の日本の取組	半導体で町が変わる⁉「Rapidus」小池社長が描く“最先端への飛躍”とは　馬渕氏が直撃【ウェークアップ】	https://www.youtube.com/watch?v=guXQfTL6glw
			半導体新会社ラピダス 東哲郎会長に聞く日本の半導体復活へ 勝機と課題は【Bizスクエア】	https://www.youtube.com/watch?v=Ke7PyNvl-gw
			「キオクシア」などが進める最先端半導体メモリー生産計画に政府が約2400億円支援(2024年2月6日)	https://www.youtube.com/watch?v=rBr1zWnYRg0
			【独自】半導体支援で約3兆3,500億円　経産省 経済対策で要求【WBS】(2023年10月12日)	https://www.youtube.com/watch?v=x7_ZcO7NBjE
			半導体強化に最大750億円助成　経産省　SUMCOが計画の半導体素材工場に(2023年7月14日)	https://www.youtube.com/watch?v=1sy4EgOeSKA
			パワー半導体で東芝とローム連携　国が最大1,294億円を支援【WBS】(2023年12月8日)	https://www.youtube.com/watch?v=14bPyLn5d9k
			[NHKスペシャル] 次世代半導体で世界に挑む	半導体 大競争時代 第2回 日本は生き残れるか	NHK	https://www.youtube.com/watch?v=1XHjZxtzkpc
			AI 半導体に2兆円超　補正予算案 10日にも閣議決定【WBS】	https://www.youtube.com/watch?v=MQ4HcngjsUE
			北海道の未来が変わる　世界一をめざす次世代半導体の工場　「ラピダス」社長を直撃	https://www.youtube.com/watch?v=0li5_47S0Ew
		中部地域における半導体産業	【競争力高めるため…】「みえ半導体ネットワーク」設立　産官学で人材育成を重点的に取り組む　三重県	https://www.youtube.com/watch?v=yOD3Xfzi71c
			DENSO 企業情報	https://www.youtube.com/watch?v=7WrdYhZicrw&list=PLGXPzitsGODn4JCSEJVuCy6pQSH0hQglw&pp=iAQB
			Connected Factory:テクノロジーと人々の力をひとつに	https://www.youtube.com/watch?v=i2MbVh6RPgE
			【TPSCo】会社紹介 タワー パートナーズ セミコンダクター株式会社(Tower Partners Semiconductor Co.,Ltd.)	https://www.youtube.com/@tpsco2548
			生産能力1.3倍のフラッシュメモリ製造棟が完成　キオクシア	https://www.youtube.com/watch?v=OxUS7Uy1Wu0
			【2023】東芝デバイス＆ストレージ【企業紹介】	https://www.youtube.com/watch?v=i9oLpJpwf6o
			ニューストピックス「加賀東芝 パワー半導体増産で新棟」北國新聞社経済部・廣田凜々子記者　2022年2月11日放送	https://www.youtube.com/watch?v=SK7ngDuetD4

(参考動画リスト)

区分			動画コンテンツ名	参照先URL
5章	全行程	簡易版	【徹底解説！】誰でもわかる、半導体ができるまでの製造工程すべて	https://www.youtube.com/watch?v=W8iMr-LP6PI
			半導体の作り方｜EUVがすごい！	https://www.youtube.com/watch?v=gUnVcudHPJM
		工場見学	【工場見学】東芝のパワー半導体ファブに行ってきた！ MOSFET, IGBT	https://www.youtube.com/watch?v=wWohwm_7yt8
	ウエハ加工工程	マスク製造工程	“はんどうたい”の作り方 ～マスクを作る・材料を加工する～ (5/7) 辰巳 哲也 ｜ソニー公式	https://www.youtube.com/watch?v=npRsHiiTiX0&list=PLT57hSt26YAzHLSVLnQ1af3ENgePHVZxu&index=5
		ウェハ製造工程	【誰でもわかる】シリコンウエハができるまでを完全解説！	https://www.youtube.com/watch?v=HNmaOA8SBA0&list=PLP6BlHlfLzbZY2fDx5EQE2BXlYdZAgJ9E&index=3
			【半導体・シリコン解説】シリコンウエーハの作り方：前半『単結晶引上工程』についてわかりやすく解説！｜新金属協会シリコン部会	https://www.youtube.com/watch?v=WjYppoiC4u0
			【半導体・シリコン解説】シリコンウエーハの作り方：後半『シリコンウエーハ加工工程』についてわかりやすく解説！｜新金属協会シリコン部会	https://www.youtube.com/watch?v=N_CMRyxKfdk
			【半導体③】多結晶から単結晶を作製するチョックラルスキー法とは何か？	https://www.youtube.com/watch?v=Q5L6sPLykg0
			結晶成長	https://www.youtube.com/watch?v=X7SAqP9RmQI#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww,100
		ウエハ研磨	半導体ウェーハ研削盤 DXSG320/R631DF【JIMTOF2020 Online】	https://www.youtube.com/watch?v=1agd2-Gmc-4

(参考動画リスト)

区分			動画コンテンツ名	参照先URL
5章	前工程	前工程概観	【前工程編】工場見学：半導体ができるまで｜実際の製造工程を見ながらわかりやすく解説！！【サンケン電気】	https://www.youtube.com/watch?v=poKpjfO5m_8
		表面酸化	半導体製造工程｜酸化膜形成【サンケン電気】	https://www.youtube.com/watch?v=8aYlWn_qsQE
			熱酸化を解説！CVDとは何が違う？【半導体プロセス徹底解説シリーズ】	https://www.youtube.com/watch?v=KxlHziaeYCQ
		薄膜形成	成膜・CVDを徹底解説！！【半導体プロセス解説シリーズ】	https://www.youtube.com/watch?v=pKzGOK7sY4Q
		レジスト塗布	【フォトレジスト】光と化学反応する感光材料が半導体を製造するのに必須な理由	https://www.youtube.com/watch?v=MFiH2AUn_TU
			スピンコーターレジスト滴下装置動画(ミカサ株式会社)	https://www.youtube.com/watch?v=2T_gfQJ3Bro
			半導体製造工程｜フォトレジスト塗布【サンケン電気】	https://www.youtube.com/watch?v=ObFnCzaLX14
		リソグラフィ	半導体製造工程｜露光【サンケン電気】	https://www.youtube.com/watch?v=SSqQmAw-lu
			現像装置AD-3000スプレー現像処理動画(ミカサ株式会社)	https://www.youtube.com/watch?v=fplLwxA-XFg
			半導体製造プロセスを支えるキヤノンの産業機器	https://www.youtube.com/watch?v=_doSaSfSVFw
			現状の微細加工技術の限界を超える！ナノインプリントリソグラフィー	https://www.youtube.com/watch?v= uIkMz0ZkFY
			【フォトリソグラフィ】最先端の半導体露光装置が数ナノメートルの表面加工できる仕組み	https://www.youtube.com/watch?v=qsfjLRZrZ4M
		エッチング	エッチングを徹底解説！！【半導体プロセス解説シリーズ】	https://www.youtube.com/watch?v=PrUENlhEdvA
		レジスト剥離	TAKADA　枚葉式ウェット処理装置　高田工業所	https://vimeo.com/515129401
		洗浄	半導体製造工程のウエハ洗浄　ノズル揺動機構式　回転乾燥	https://www.youtube.com/watch?v=sUqMxYxAGs4
			半導体製造工程の洗浄　部分洗浄　高水圧の自動洗浄ノズル	https://www.youtube.com/watch?v=9aUL2ejEnjw#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww,100
		ウエハ検査	【超高級】目に見えないほどの製品を扱う半導体メーカー｜日清紡マイクロデバイスAT株式会社【職人たちのオフトーク #27】	https://www.youtube.com/watch?v=NLvB7q2o0do
			ウェハ表裏全自動外観検査装置	https://www.youtube.com/watch?v=RTBZIYdIXuU
			タカノ株式会社 画像計測部門 ウェーハ検査装置 紹介	https://www.youtube.com/watch?v=vy2cf2bLb24
			タカノ株式会社 画像計測部門 ウエハー外観検査機 VC Series	https://www.youtube.com/watch?v=pk1oiIlUpM8

(参考動画リスト)

区分			動画コンテンツ名	参照先URL
5章	後工程	後工程概観	【後工程編】工場見学：半導体ができるまで｜実際の製造工程を見ながらわかりやすく解説！！【サンケン電気】	https://www.youtube.com/watch?v=xBY5G9JFxe0
		ダイシング・ボンディング	パワー半導体後工程の見える化ソリューション　／日本キスラー	https://www.youtube.com/watch?v=tMqvoC2413Q
		ダイシング	ダイシング加工のサンテック（Long Ver.）	https://www.youtube.com/watch?v=3WCow15_9uQ
			切断技術(スクライブ＆ブレーク)の加工プロセスフロー説明	https://www.youtube.com/watch?v=7aVRicg572w
		ボンディング	半導体製造工程｜ワイヤーボンド【サンケン電気】	https://www.youtube.com/watch?v=JskINSPrgyo
		最終検査	半導体製造工程｜電気的特性検査【サンケン電気】	https://www.youtube.com/shorts/qc6GIMZNBbs
		参考	半導体製造「後工程」の技術開発　世界トップクラスの日本企業が結集(2023年6月27日)	https://www.youtube.com/watch?v=njMtsjTVP0Y

本プログラムの取り扱い

- 本資料は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託事業「特定半導体の安定供給体制の構築・維持に必要な人材の育成及び確保並びにサプライチェーンの強靭化に関する調査事業」により作成したものです。（委託事業実施機関：PwCコンサルティング合同会社）
- 掲載する情報は、PwCコンサルティング合同会社、経済産業省 中部経済産業局が各社に確認し整理したものです。今後、必要に応じて、随時、情報更新を行います。