

Fine Carbon

ファインカーボン事業説明会

2023/07/07

進 英雄（ファインカーボン事業部長）

目次

1 東海カーボンのファインカーボン事業	3
(1) 業績推移	4
(2) ファインカーボンの対面市場	5
(3) 東海カーボンFC事業部の主要製品	6
2 半導体の製造工程	10
(1) 半導体ができるまで	11
(2) 製造工程内訳（Si単結晶）	
A. 製造工程内訳	12
B. ウェハ製造工程	13
C. 前工程・後工程	14
3 半導体製造工程で使用するファインカーボン	15
(1) シリコン単結晶インゴット製造工程	16
(2) Siエピタキシャル成長工程	17
(3) エッチング工程	18

4 次世代半導体（SiC半導体）	19
(1) さまざまな半導体	20
(2) パワー半導体とは何か	21
(3) パワー半導体市場の成長率	22
5 当社製品が使用される主な工程（SiC半導体）	23
(1) SiC単結晶ウェハの製造工程	24
(2) SiC単結晶ブルーム製造	25
(3) SiCエピタキシャル成長	26
6 成長戦略	27
(1) 半導体市場の成長見通し	28
(2) 投資一覧	29
(3) ターゲット	30

FC business

東海カーボンのファインカーボン事業（FC事業）

業績推移

2016年の構造改革を経て、“稼ぐ”事業部として大きく発展。特にメモリ用半導体の製造装置部材Solid SiC製フォーカスリングでは圧倒的な地位を築き、その他商品の成長と相俟って業績向上

		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
売上	億円	138	126	143	150	129	144	254	304	318	391	494	520
営業利益	億円	(2.6)	(6.5)	(2.5)	1.1	(18)	17	37	61	66	96	148	160
ROS	%	(2%)	(5%)	(2%)	1%	(14%)	12%	15%	20%	21%	25%	30%	31%

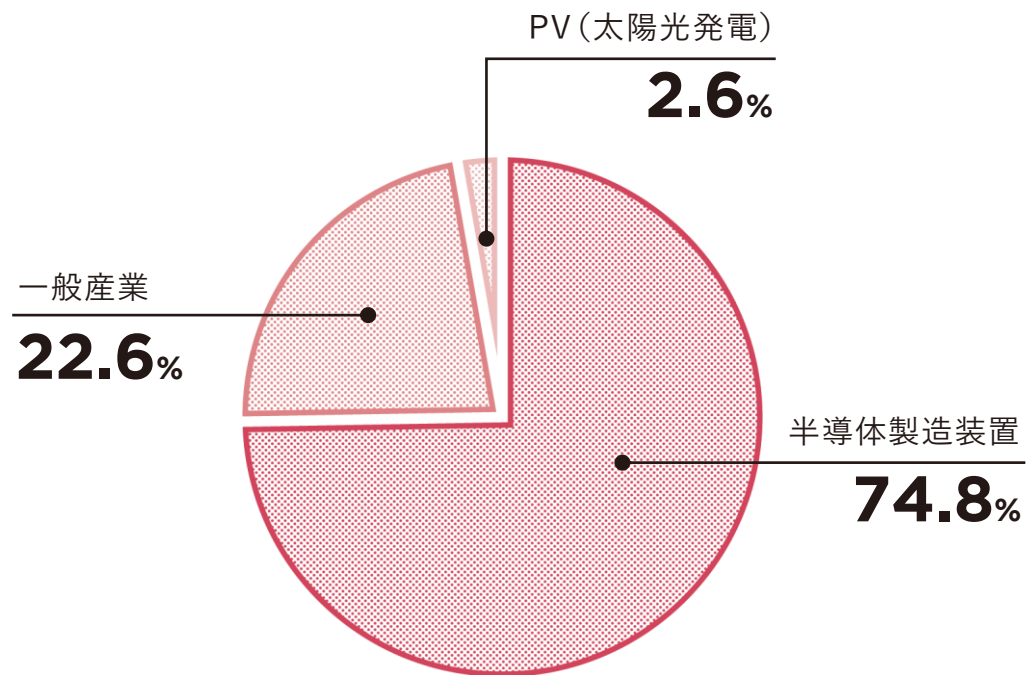
Solid SiC製フォーカスリングの商用生産開始
(韓国東海カーボン)

構造改革断行
(生産能力削減、要員適正化、売価適正化)

韓国東海カーボン 連結子会社化

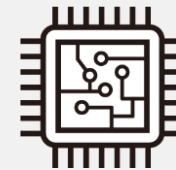
フラインカーボンの対面市場

市場内訳（2022年実績）



対面市場

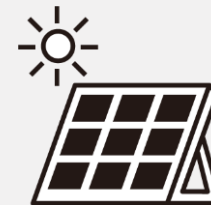
メモリ・ロジック半導体



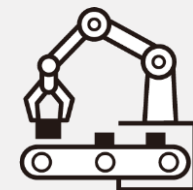
パワー半導体



PV（太陽光発電）

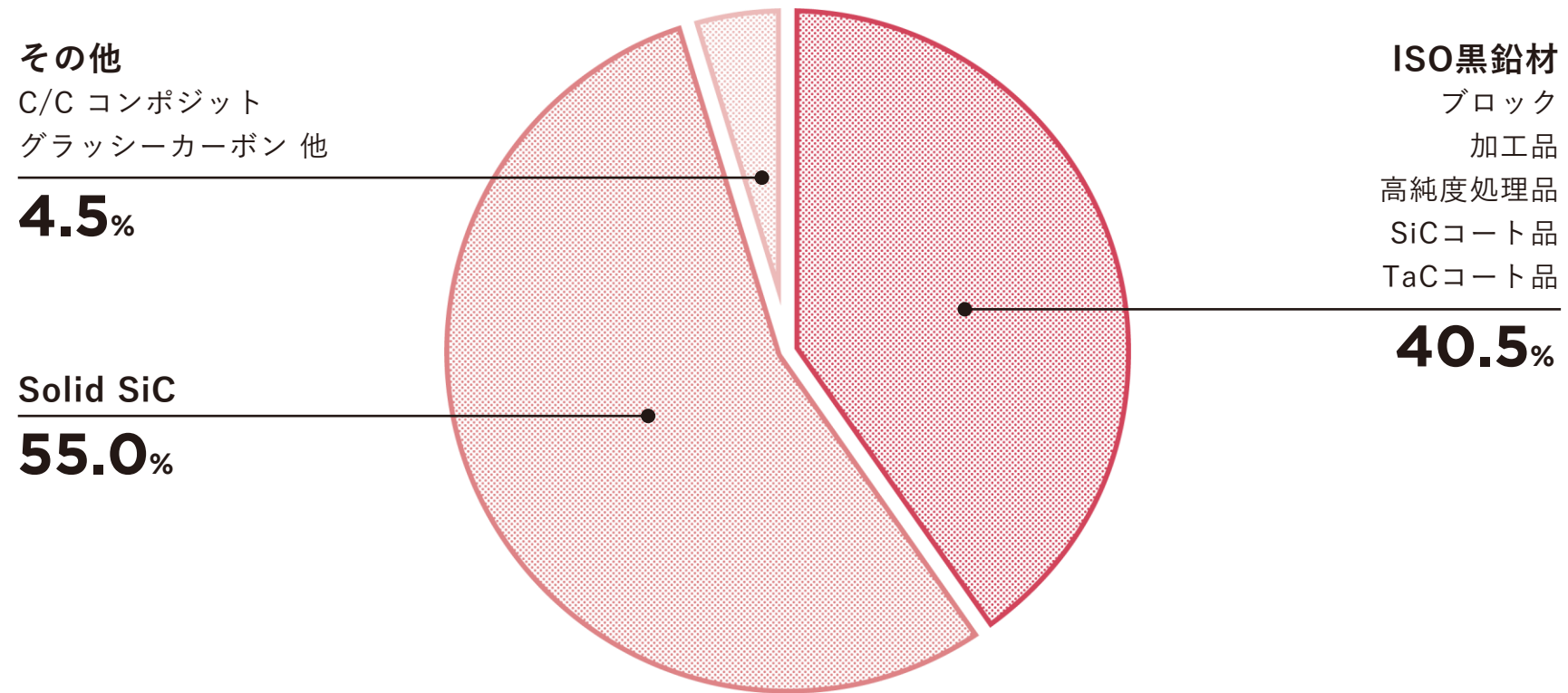


一般産業



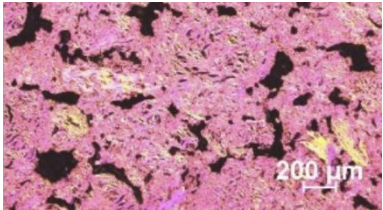
PV=Photovoltaic（光起電性）

東海カーボンFC事業部の主要製品



参考／ISO(Isotropic=等方性)黒鉛とは？

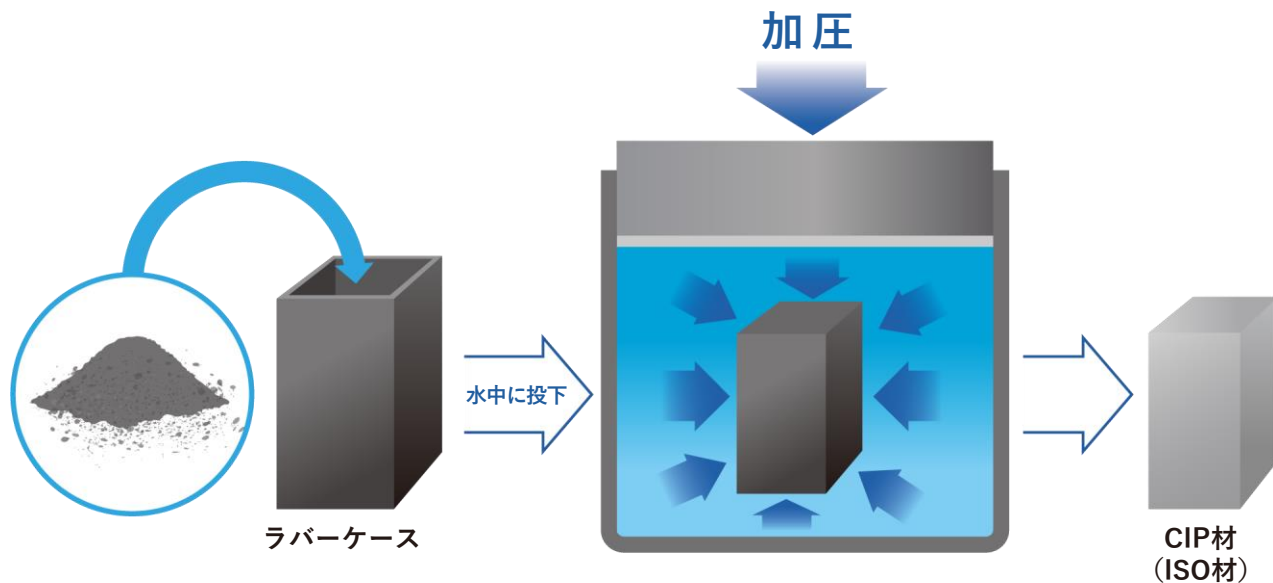
ファインカーボンは、素材の均一性（等方性；特性が全ての方向において均一）や高純度が求められる半導体製造工程などで使用される。こうした等方性黒鉛は、一般的な黒鉛材とは異なる特殊な成形方法により製造される

黒鉛の種類	等方性黒鉛	異方性黒鉛（一般的な黒鉛）
成形方法	CIP成形	押出し成形 * 一部製品はモールド成形
材料写真	 外観は目が詰まっておりクリーン	 外観は荒く、粒子は成形された方向に揃う
組織（偏光顕微鏡写真）	 組織内も大きな穴はなく、均一	 組織内写真では、黒い穴が点々としてい。
特徴	等方性黒鉛材は、黒鉛の優れた特性を保ったまま、さらに次のような特徴を持ちます。 ● 熱膨張性などの特性が全ての方向において均一 ● 微粒子構造で高密度 ● 機械的強度が優れる	黒鉛はさまざまな優れた特性を持っているため、多種多様な産業で使用される。 ● 耐熱温度は3000℃以上 ● 電気、熱を良く伝える ● 高温で強度が高くなる ● 加工が容易

参考／ CIP(Cold Isostatic Pressing：冷間等方圧加工法)の原理

CIPとは英語のCold Isostatic Pressing（冷間等方圧加工法）の頭文字を取ったもので、ラバープレスとも呼ばれる。成形体表面に均等な圧力が加えられることで、方向性なく圧縮成形され、密度や特性の均質化が図られる

ISO（等方性）黒鉛の成形方法

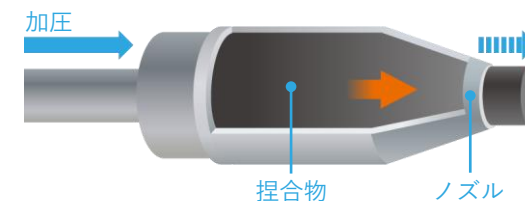


ラバーケースに原材料（コークス等）を詰め、水圧により等方的に加圧成形する方法。原材料の粒子の向きが特定の方向性を持たずランダムとなるため、どの部分も特性が均一となる

ご参考／黒鉛電極の成形方法



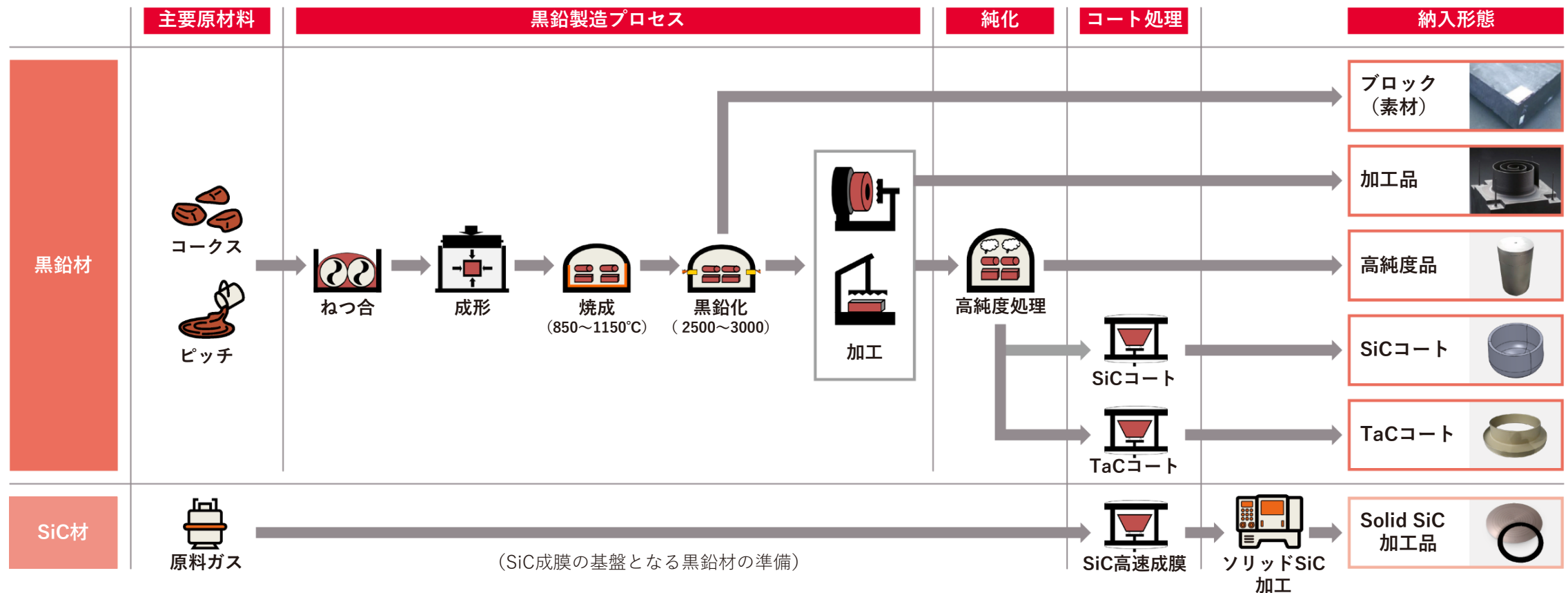
押し成型機（山口県防府工場）



プレス成型機から押し出された原材料の粒子は、押し出し方向に整列するため、縦と横ではその特性が異なる

参考／ファインカーボン製造プロセス

ファインカーボン製品は使用される用途により、加工品、高純度品、コート品など複数のバリエーションがある

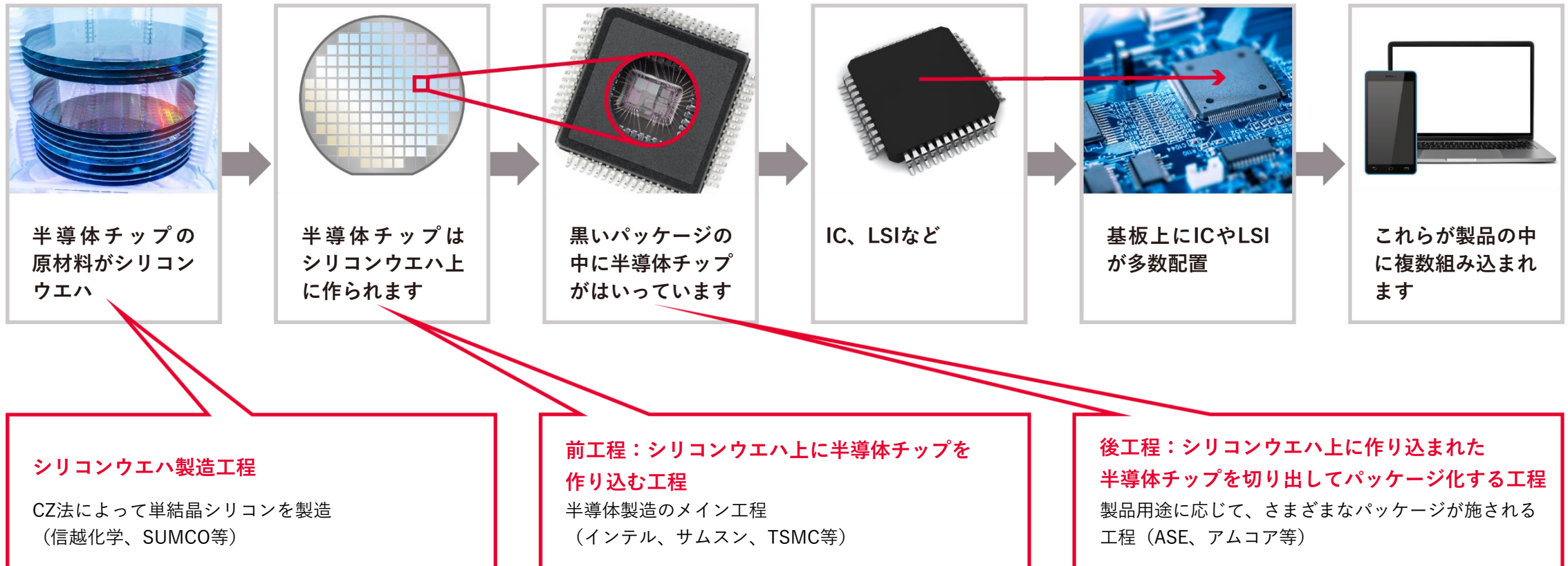


Manufacturing

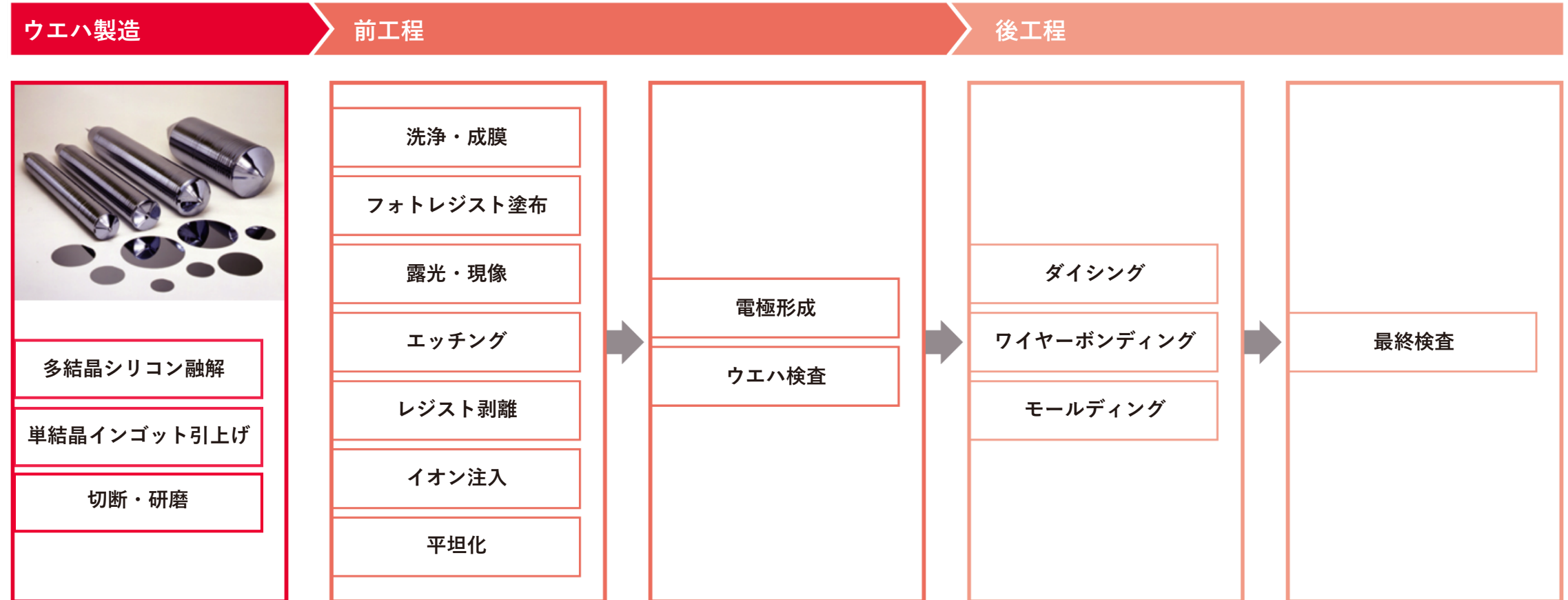
半導体の製造工程

半導体ができるまで

ウエハからパソコンまで



製造工程内訳 (Si単結晶)



* 前工程：シリコンウエハに回路を形成するまでの工程 後工程：回路が形成されたシリコンウエハを半導体チップに切り出して、実際のIC・LSIとして出荷するまでの工程

ウエハ製造工程 (Si単結晶)

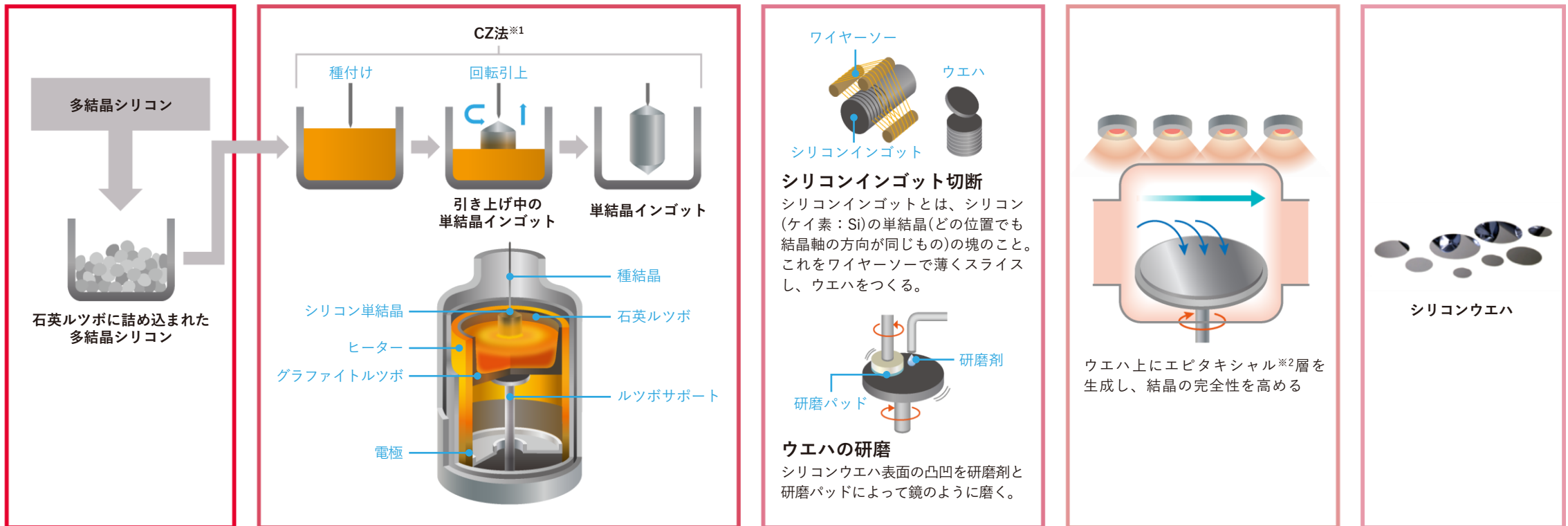
多結晶シリコン(原材料)

シリコン単結晶インゴット

ウエハ機械加工

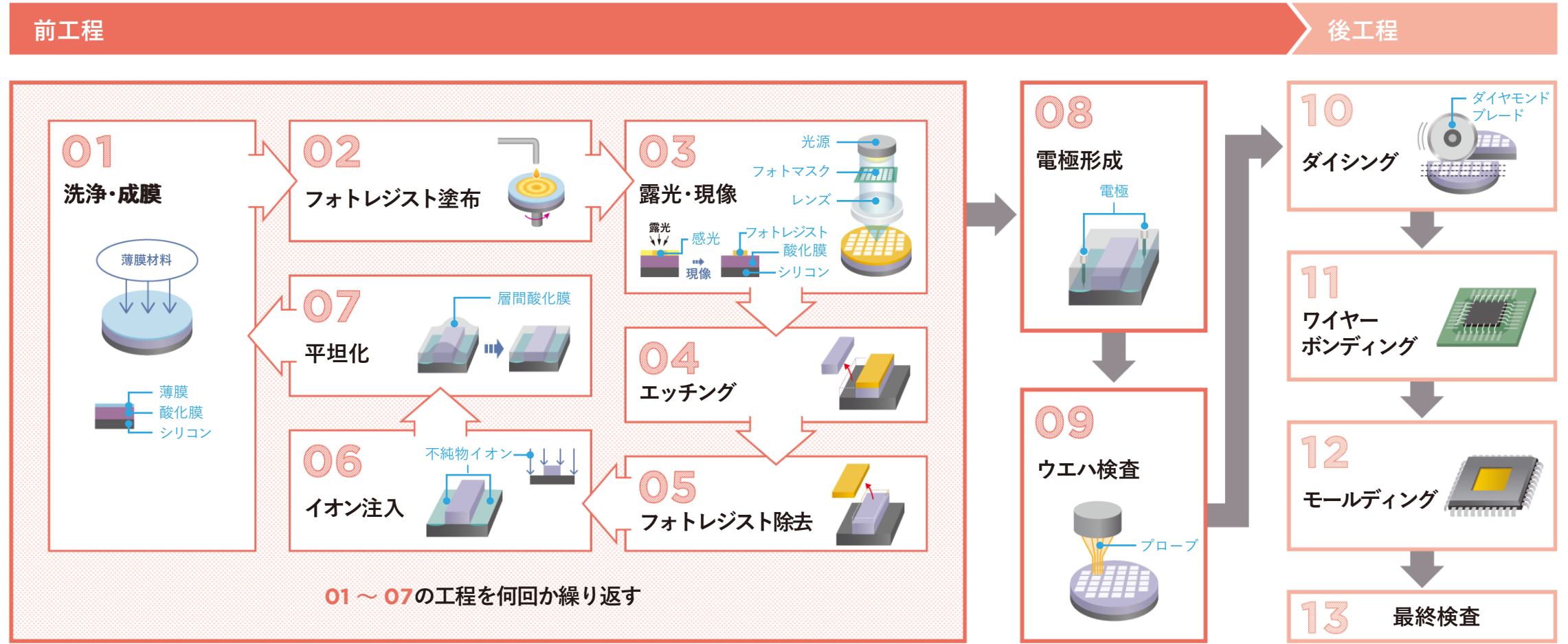
エピタキシャル成長

ウエハ完成



※1 CZ法(チョクラスキー法): ウエハの材料となる単結晶シリコンのインゴットを製造する代表的な手法。石英ルツボに高純度の多結晶シリコンを入れて約1500°Cで融解させます。るつぼ内の溶けたシリコンを、種結晶シリコン棒で回転させながら引き上げると単結晶インゴットが生成されます。※2 エピタキシャル: エピタキシャルはギリシア語の「〜の上に」という意味の接頭語epiと「あらゆる方向に配列されること」という意味のaxisの合成語で、単結晶基板上にその基盤と同じ面方位を持った結晶を成長させることを指す。

前工程・後工程 (Si単結晶)



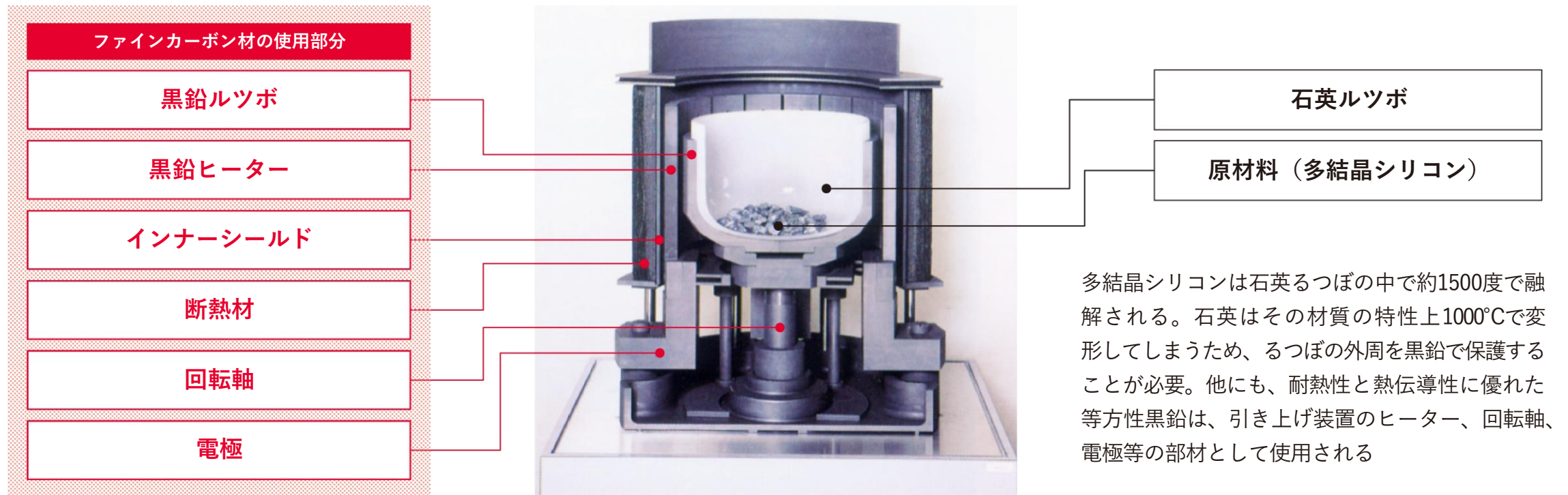
FC in the production process

半導体製造工程で使用するファインカーボン

シリコン単結晶インゴット製造工程

石英るつぼ以外のほとんどの部材はファインカーボン製品で構成

シリコン単結晶引き上げ装置



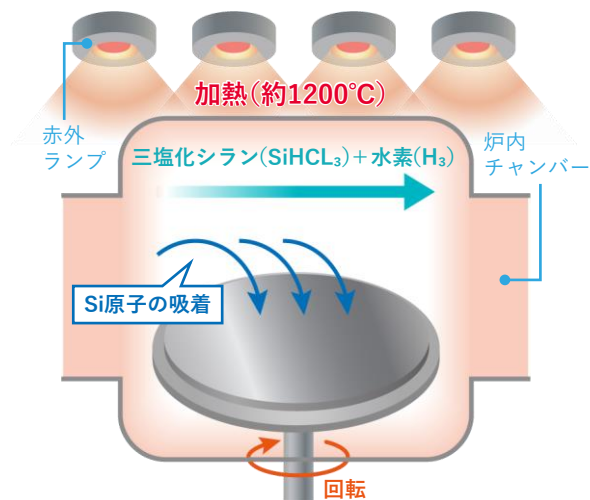
多結晶シリコンは石英るつぼの中で約1500度で融解される。石英はその材質の特性上1000℃で変形してしまうため、るつぼの外周を黒鉛で保護することが必要。他にも、耐熱性と熱伝導性に優れた等方性黒鉛は、引き上げ装置のヒーター、回転軸、電極等の部材として使用される

Siエピタキシャル成長工程

ウエハを載せるサセプターや持ち上げるリフトピンなど、さまざまなファインカーボン製品を使用

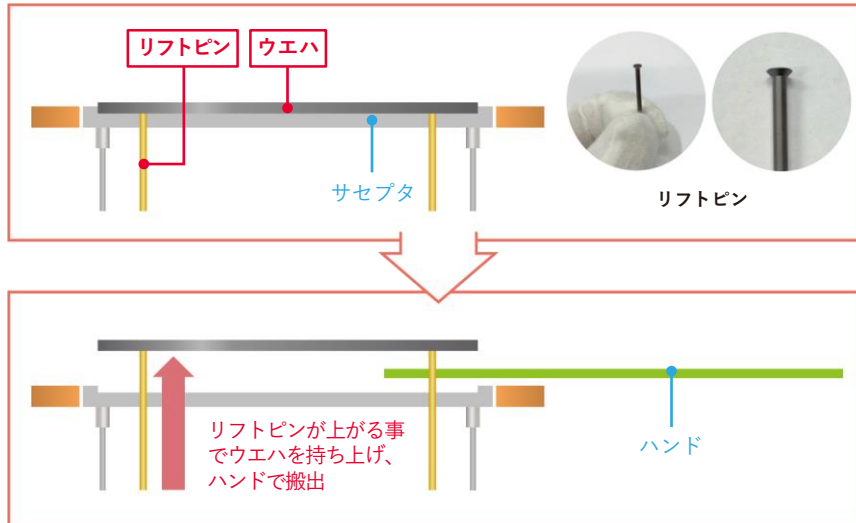
成膜装置

枚葉式エピタキシャル炉 イメージ図



エピタキシャル炉の中で、シリコンウエハ表面上に、単結晶シリコンの薄膜を気相成長（コーティング）。ウエハを支える台座にはSiCコート品などの素材が使用される

ウエハ入搬出の仕組み



エピタキシャル装置より、ウエハを取り出す際に、ウエハを下からピンで突き上げることで全体を持ち上げ、取り出し用のハンドが入るようにサセプターとウエハの間に隙間をつくる。ウエハと直接接触するこの部材をリフトピンと呼び、超高純度が要求される

ウエハをエピタキシャル炉の中で約1200℃まで加熱し、炉内に原料ガスを流すことで、ウエハ表面上に単結晶シリコンの膜を気相成長（エピタキシャル成長）させる工程。

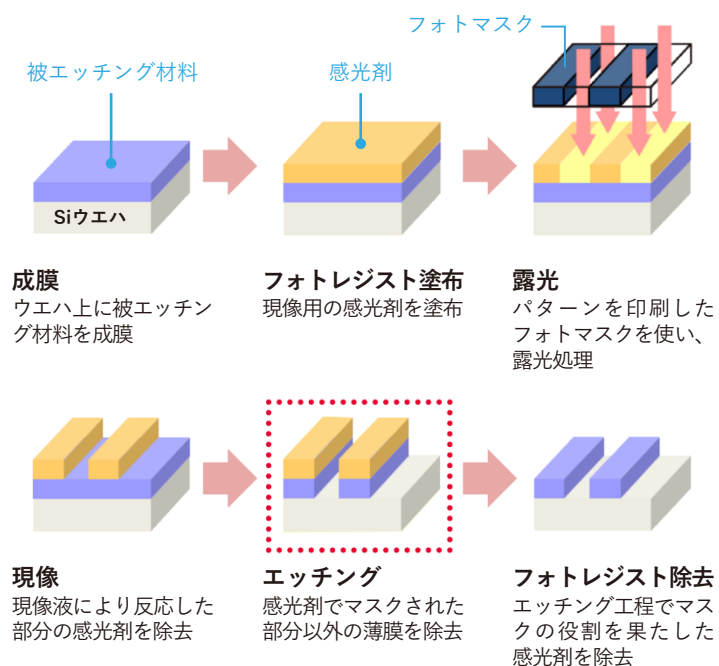
チャンバー内の部材としてウエハを載せるサセプター（台座）や処理済のウエハを持ち上げるリフトピン等が使われるが、高い耐熱性が必要となるだけでなく、ウエハと直接触れる部品であることから高い純度も要求されるため、SiCコート製品、Solid SiC製品、グラッシーカーボン製品が広く使われている

エッチング工程

高層 3D-NAND等の発展により、深いメモリーホール形成（エッチング）が必要に。高まる負荷へのソリューションとして開発されたのが新素材『Solid SiC（シリコンカーバイド）』

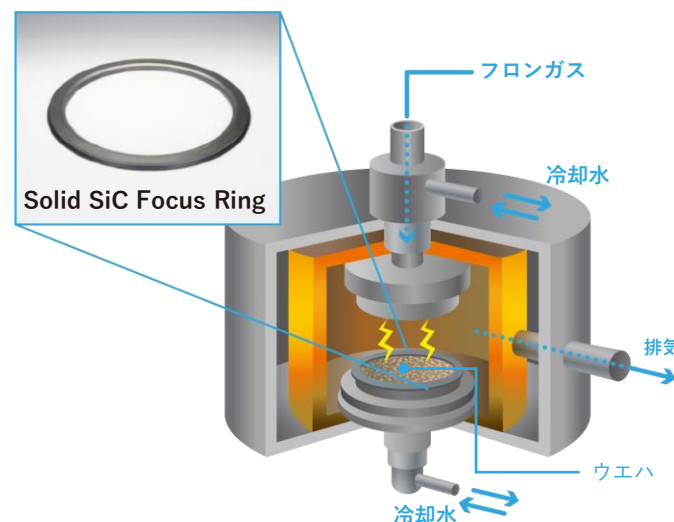
エッチング工程とは

膜を削り取り、半導体の回転を浮き彫りにする工程



Solid SiC製フォーカスリング

Solid-SiCとはCVD法により製造される超高純度のシリコンカーバイド。その特性から高出力が進展するエッチング装置の部材として使用される。強度、耐熱性、耐プラズマ性、耐薬品性に優れる。



エッチング工程とは、ウエハ上に描かれた回路に沿って、不要な薄膜を削り取り、半導体の回路を浮き彫りにする工程。エッチング工程では、真空容器内で腐食性ガスをプラズマ化し、化学反応と加速したイオンで、薄膜を削って除去する。東海カーボンが提供する“フォーカスリング”と呼ばれるドーナツ型の部品は、エッチング装置内で、ウエハ周囲に配置され、プラズマをウエハに集中させる目的と、プラズマによる消耗から装置を保護する目的で使用される。素材にはソリッドSiC（CVD法で製造された多結晶シリコンカーバイド）が使用され、従来の素材であった石英やシリコンに比べてライフタイムが長い。これにより、交換時のダウンタイムやロスが軽減され、生産性が飛躍的に向上する。特にNAND型メモリのように回路を複数階層を掘っていくシビアな使用環境で重宝される

SiC semiconductor

次世代半導体 | S i C 半導体

さまざまな半導体

一口に「半導体」といっても様々なタイプのデバイスが存在する。メモリやロジックなど大量のデータを処理する『IC』、電力供給を制御する『パワー半導体』では、それぞれの用途も製造方法も大きく異なる

ICとパワー半導体の具体的な用途と求められる性能

C



役割	大量の情報を高速で処理	代表的な企業	ロジック: Intel、Apple、NVIDIAなど メモリ: サムスン、SK hynixなど 通信: クアルコムなど 製造: TSMC、GlobalFoundriesなど
用途	スマートフォンやPC、スマート家電のロジック回路、メモリ、通信処理など		

パワー半導体



役割	電力の変換	代表的な企業	Infineon、ON Semiconductor、三菱電機、東芝、ST-Micro、ローム、WolfSpeed (旧Cree) など
用途	電気自動車 (EV)、交通インフラ、クリーンエネルギー、電力網など		

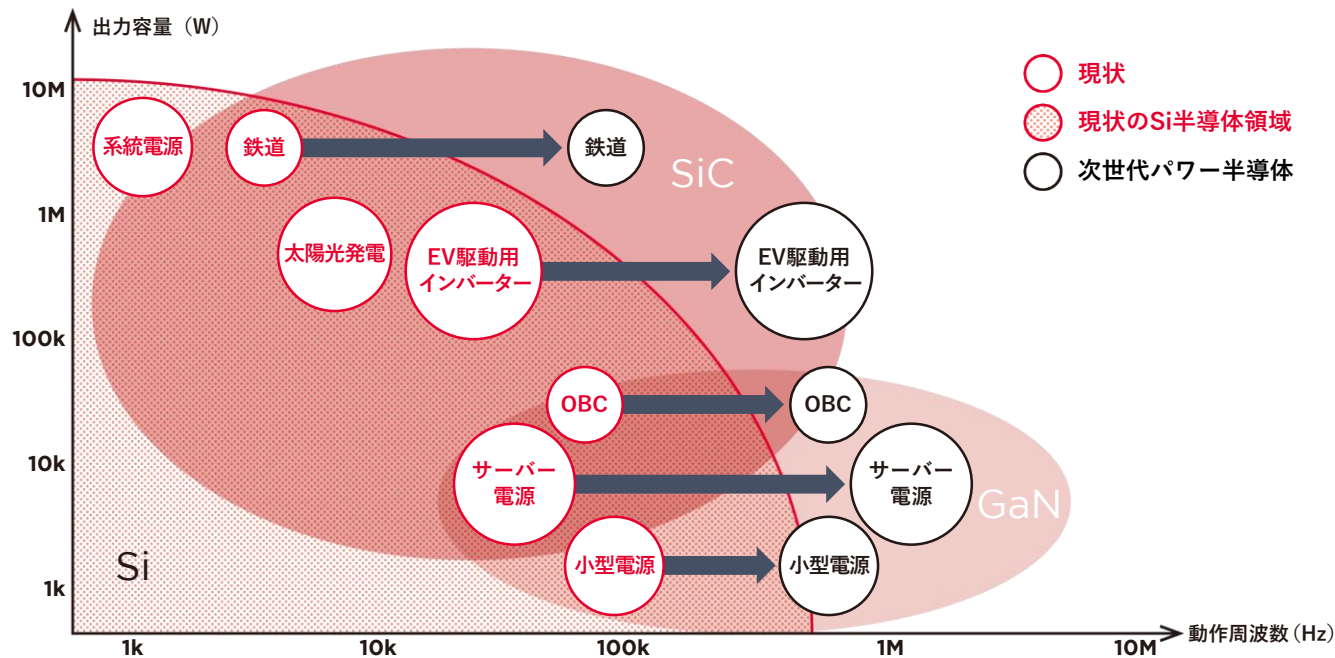
複数のスイッチ機能で演算処理を実行。求められる処理能力がどんどん上がっているため、「回路の微細化」や「加工精度の限界への挑戦」が革新のテーマとなる。最新のスマホには100億単位の半導体素子が実装されている

パワー半導体の役割は、電力の制御や変換であり、モーターへの電力供給など、電力を使いやすい形に変換するプロセスで使用される。複雑な計算は求められず、1チップに1～10素子のシンプルな構造。電気自動車など、狭いスペースで大きな電流・電圧の制御が求められる用途が増えており、小さくても高い性能が出るバンドギャップ*の広い半導体の開発が加速している（例：SiC半導体）。

*バンドギャップ：過酷な条件でも漏電せず安定して動作する上で重要なパラメータ（禁制帯：電子が存在することができない領域）。バンドギャップが広いほど、漏電しにくく、材料の小型化が可能

パワー半導体とは何か

- パワー半導体は電力の変換（交流⇄直流、周波数等）が必要な部分で使用され、家電、送電システム、電車などで使用
- 基盤はSi半導体が主流だが、次世代パワー半導体としてSiCやGaNが注目され始めている。SiCは、Siに比べると、スイッチング速度・放熱性に優れ、絶縁破壊電圧が約10倍と高耐圧であり、大電流化に適するため、特に電気自動車での採用が拡大している

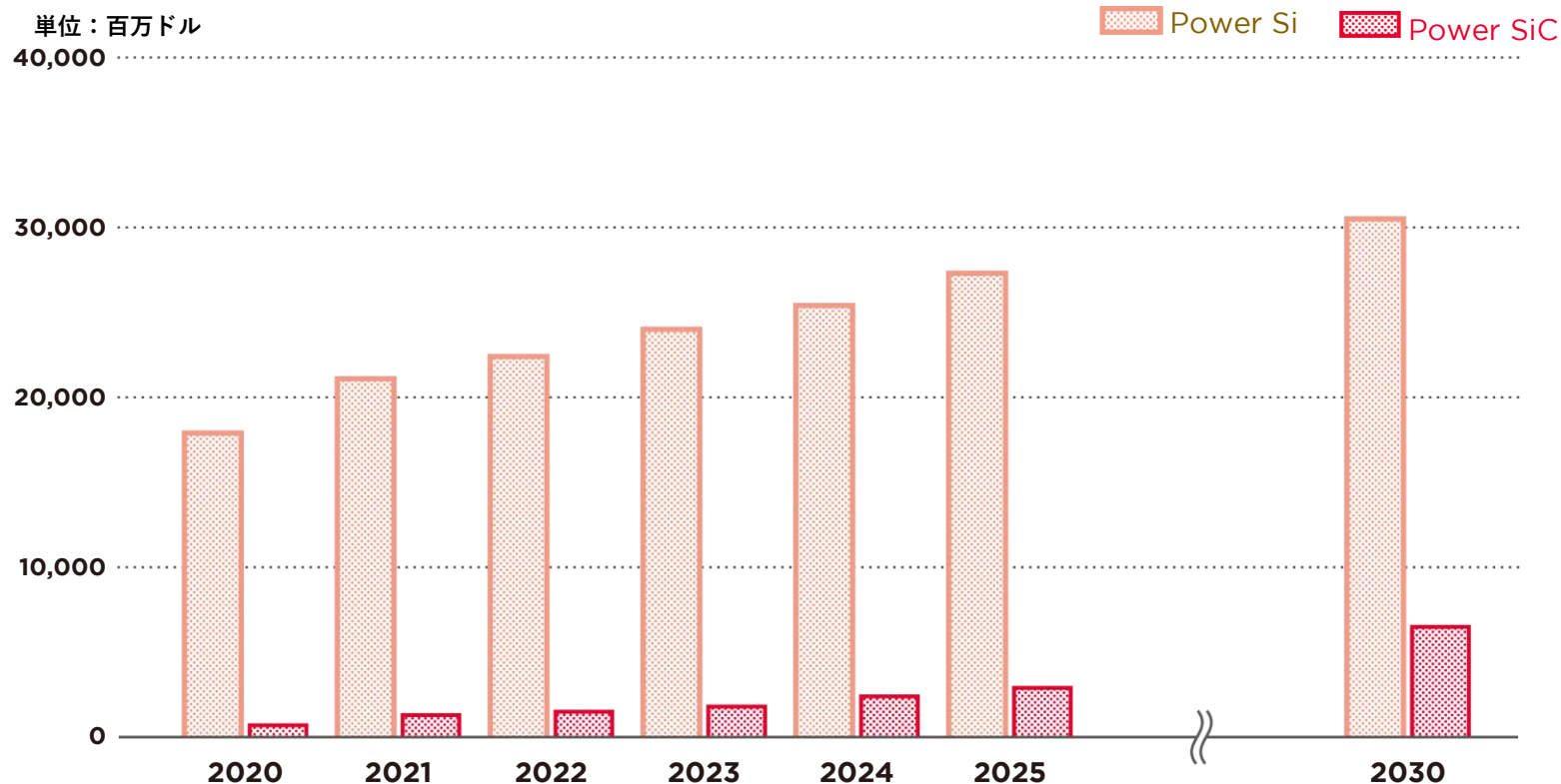


SiC半導体を使うと装置の小型化が可能

Siに比べ、スイッチング周波数が速いため、1周期あたりに処理するエネルギーが少なくて済み、コイル、コンデンサなどさまざまな部品の小型化が可能。例えば、EVでは電力5%の低減が可能となり、課題であるバッテリー重量の軽量化に貢献（30kg前後の軽量化に貢献）。高価なバッテリー削減や充電時間短縮（高電圧化）にもつながる。今後EVや鉄道に使用されることで、SiC半導体の著しい成長が見込まれる。

パワー半導体市場の成長率

再生エネルギー、自動車の電装化、家電向けにおいて今後パワー半導体需要は拡大の見通し。特にSiC半導体は、電気自動車のインバーター採用も増加しており、2025年には約2倍、2030年には約4.5倍の市場成長が期待されている(2022年比)



2030年までの年平均成長率
(当社推定値)

Si半導体

CAGR

4%

SiC半導体

CAGR

21%

* CAGR (Compound Annual Growth Rate): 年平均成長率(2022-2030)

Process

次世代半導体 | 当社製品が使用される主な工程

SiC単結晶ウエハの製造工程

基本的な工程はSiと同じであるも、SiCウエハでは結晶成長により多くのエネルギーが必要*。基盤生成に2000°C以上、エピタキシャル生成で1600°C以上と、高温域での特性コントロールが必要となり、Siに比べ製造の難易度は高い

SiC（原材料）

SiC単結晶ブルーム[インゴット]

ウエハ機械加工

エピタキシャル成長

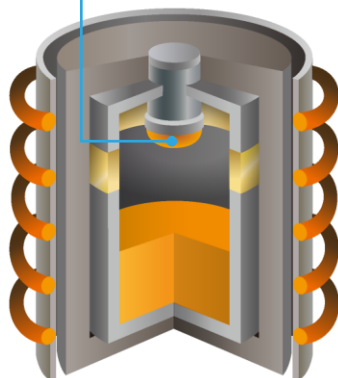
ウエハ完成



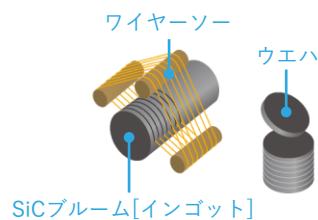
SiC原料

昇華法

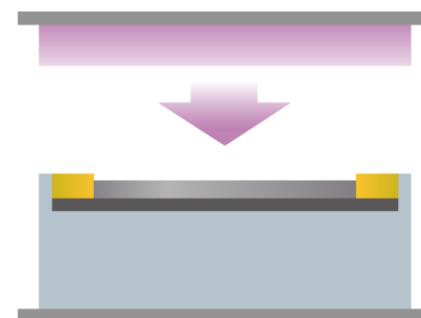
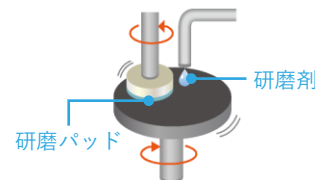
SiCブルーム[インゴット]



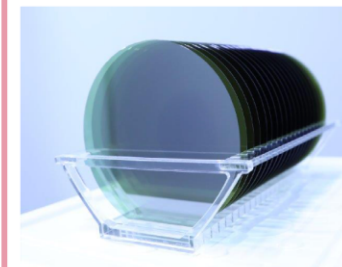
ワイヤーソーで切断



ウエハの研磨



ウエハ上にエピタキシャル層を生成し、結晶の完全性を高める。基本的にはSiと同工程だが、処理温度はSiCの方が高い。



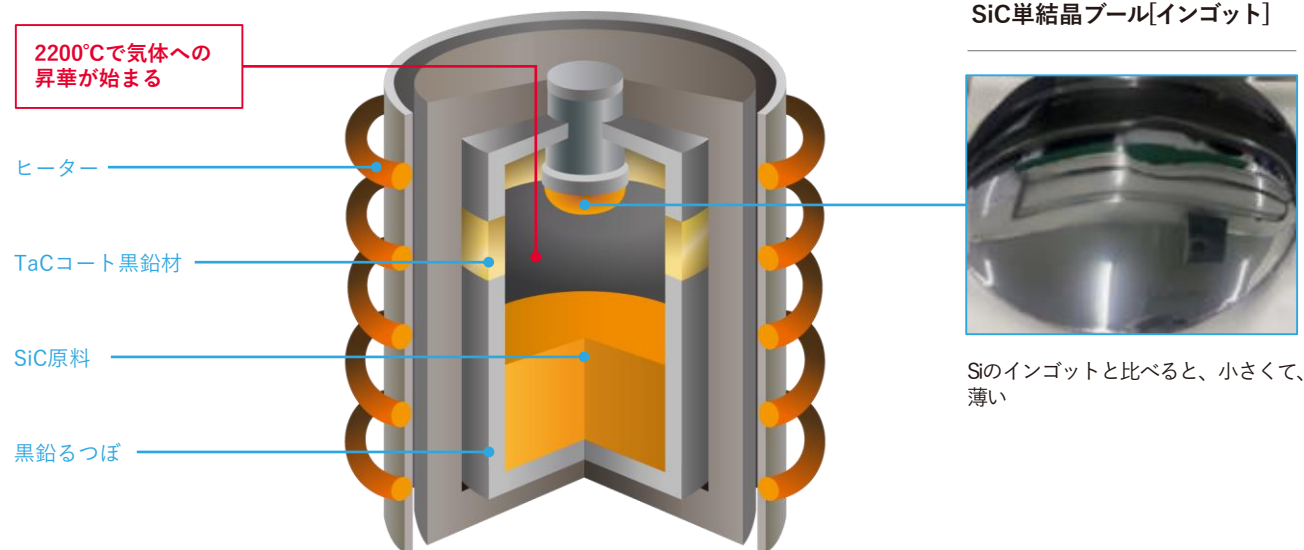
SiC単結晶ウエハ
(半透明の緑色)

* SiCの基盤生成は昇華法では2000°C以上。一方でSi単結晶シリコン生成(CZ法)の温度は約1500°Cで原材料であるポリシリコンを融解する。エピタキシャル生成はSiC 1600°Cに対して、Siは約1200°C。

SiC単結晶ブール[インゴット]製造

SiCの融点は2700℃とSiの約1500℃と比べて高いため、SiCを気体化させて炉内上部で結晶を成長させる昇華法(Physical Vapor Transport)が製造の主流。炉内は超高温となるため、装置部材に必要な黒鉛の材質条件もSiとは異なり、また部材の消耗量が多いのも特徴

SiC単結晶の製造装置（昇華法）



粉末状の高純度SiCを黒鉛るつぼの底に投入し、高温に熱し、昇華させることで、るつぼ上部の種結晶下にSiC単結晶が生成される

装置内のファインカーボン製品（一例）

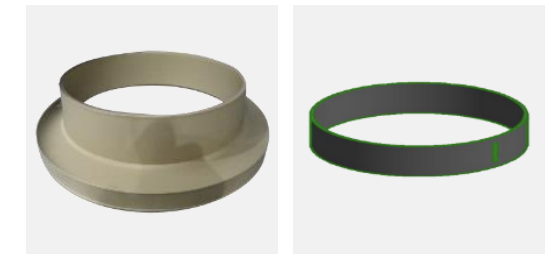
高純度処理品（ISO黒鉛材）

昇華法装置の黒鉛るつぼとして使用。



TaC*コートISO黒鉛材

炉内で、結晶を厚く、早く成長させるための炉材として現在爆発的に需要が伸びている製品。SiCより優れた耐熱性を持つ次世代型コート品であり、炉内で消耗の激しい中間部分に設置される



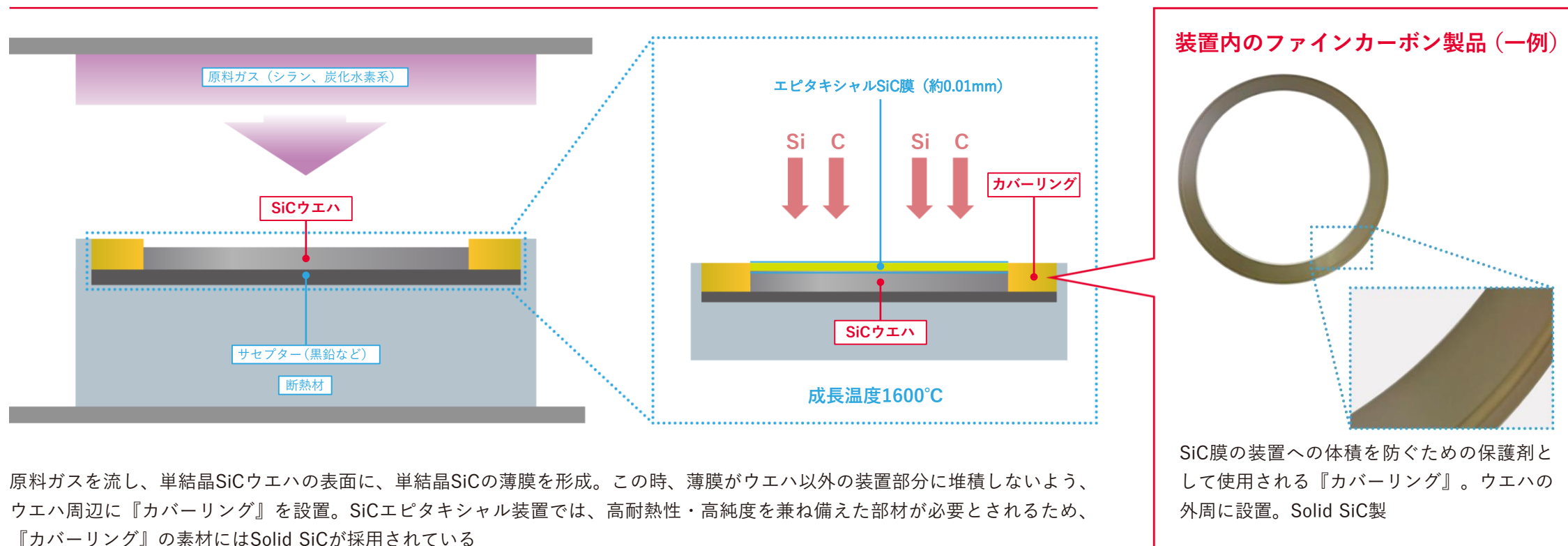
単結晶SiCの成長には時間がかかり、得られるインゴットのサイズも小さいことから、Siウエハに比べ生産量あたりの黒鉛部材の消耗量が多い。また、超高温領域の使用により、求められる材質条件もSiウエハ製造とは異なることから、FC製品にとっての新市場と言える

* TaC：Tantalum Carbide（炭化タンタル）。

SiCエピタキシャル成長

研磨されたSiC単結晶ウエハの上に、エピタキシャルSiC膜を形成し、結晶欠陥を低減する工程。Siウエハの同工程と基本的には同じだが、SiCエピタキシャルの処理温度は約1600℃とSi比高い

CVD装置でのSiCエピタキシャル成長のイメージ



原料ガスを流し、単結晶SiCウエハの表面に、単結晶SiCの薄膜を形成。この時、薄膜がウエハ以外の装置部分に堆積しないよう、ウエハ周辺に『カバーリング』を設置。SiCエピタキシャル装置では、高耐熱性・高純度を兼ね備えた部材が必要とされるため、『カバーリング』の素材にはSolid SiCが採用されている

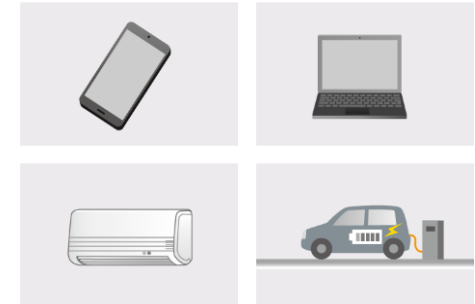
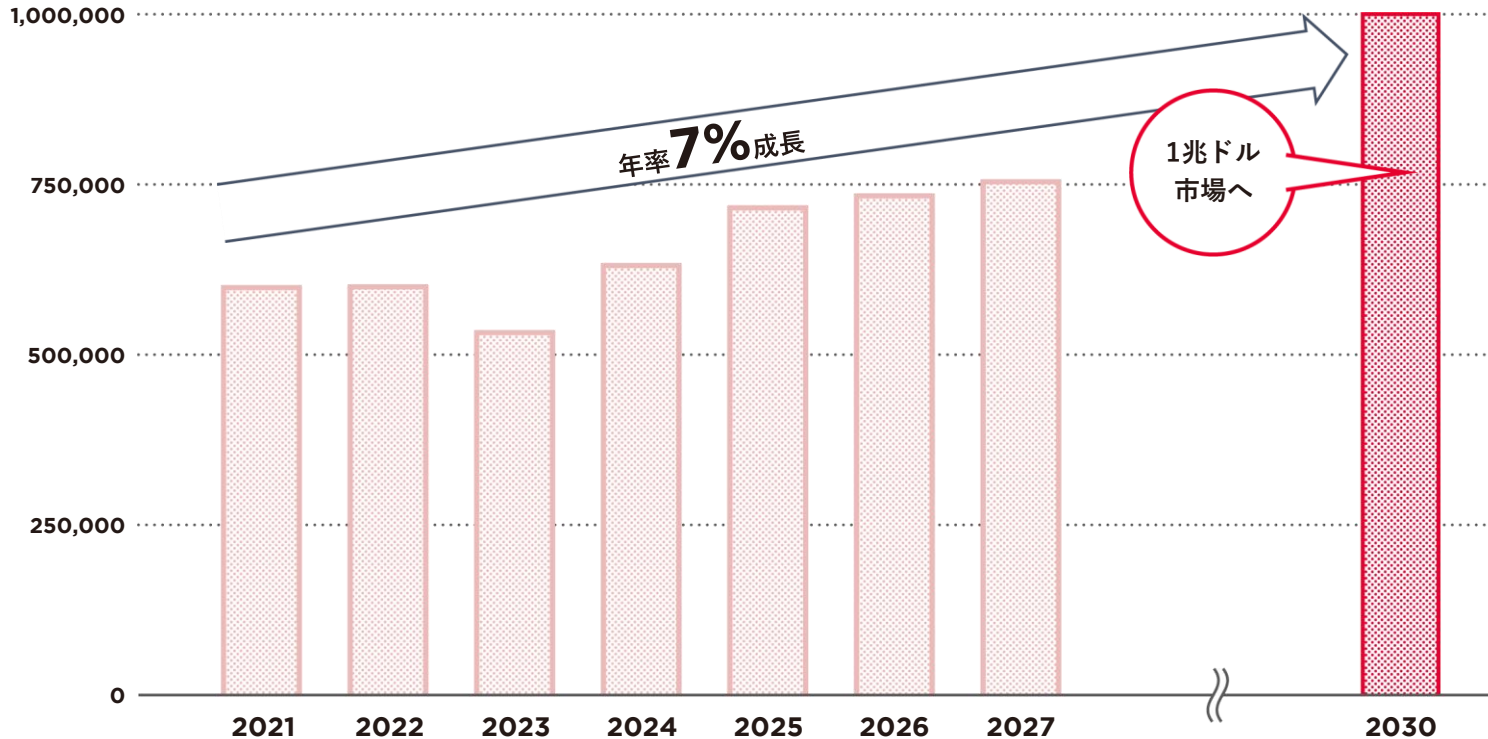
Growth investment

成長投資

半導体市場の成長見通し

パソコン、スマホの需要減速を受け、2023年は前年比で市場規模縮小の見通し。2024年以降は、成長軌道へ回帰し、2030年の1兆ドル市場への拡大を目指す

単位：百万ドル



半導体市場は、データ技術、通信、自動車、電動車、産業エレクトロニクス、家電分野など各分野で継続的な成長が見込まれる

投資一覧

中期経営計画T-2025において総額220億円の成長投資を実行し、半導体産業の市場拡大に合わせ生産能力を増強。ベースとなる等方性黒鉛材の能力増に加え、今後発展が見込まれる高純度製品、SiC製品のグローバル供給体制の整備を進める

成長投資プラン

国	投資概要	関連製品	2022	2023	2024	2025	2026
日本	等方性黒鉛 能力増強	ISO	年産8,000 トン→9,400 トン 11,000 トン				業績寄与（順次）
日本	CVD 炉増強	Solid SiC / SiC coat	生産能力 3 割増				業績寄与
韓国	CVD 炉増強 [既存工場]	Solid SiC / TaC coat	生産能力 4 割増				業績寄与
韓国	新工場建設	SiC 関連	土地取得 工場建設・CVD 炉投資				業績寄与（順次）
中国	新工場建設 [拡張移転]	高純度品	生産能力 4 割増				業績寄与

ターゲット

2025年までに売上、営業利益、EBTDAで約3割成長を計画。グループ全体の24%のEBITDAをファインカーボン事業より創出

FC事業部業績推移

		2022	2023	2025	成長率
売上	億円	494	520	650	132%
営業利益	億円	148	160	190	128%
ROS	%	30%	31%	29%	—
ROIC	%	16%	15%	18%	—
EBITDA	億円	213	220	270	127%
EBITDA マージン	%	43%	42%	42%	—

