

特集／経済安保を巡る諸情勢

〈3〉近年の半導体産業動向～特に単結晶製造分野の調査～への補遺

日本鉱業史研究会

長原 正人

はじめに

本稿は、前職 JOGMEC 在籍時の同 2025 年 7 月に発表した、JOGMEC 金属資源セミナー・クリティカルミネラルブリーフィング「近年の半導体産業動向～特に単結晶製造分野の調査～」^[1] をベースに執筆したものである。原著がプレゼンテーションという媒体であった都合上、文章として表現できなかった内容を補足するとともに、原著作成過程で確認した有用な参考文献情報の詳細を紹介する意図で本稿を執筆する。なお、すべての原著図表の再掲は紙面の都合上困難であることから、詳細な図表データ等はカラーでもある原著^[1] を参照していただきたい。

「半導体」の様々な分類

初期のトランジスタがベル研究所 (Eng.: Bell Laboratories) で発明されたのは 1947 年のことである。当時の半導体デバイスは機能も限定的であり、何より組み込み先の製品の方がまだ開発されていなかったことから実用的な用途もごく限られたものであった。それから半世紀以上が経ち、高度な電子機器の存在が我々の身近なものとなった今日では、半導体デバイスの用途や種類（性能）も多様となり、求められるスペックに応じて様々な半導体デバイスが製品に組み込まれている。

「半導体」という単語が一般的となった現代では、当時とは逆に、どういった概念を指して「半導体」という単語を文中で使用しているのかが不明瞭となる弊害が生じている。今日、「半導体」という単語が用いられる場合には、Table 1 のような分類を念頭に、特定範囲を含めた総称、あるいは包含されている单一の対象や概念などの要素を指していることが多いと思われる。この現象はまた、我々が報道等から常時「半導体」不足が生じているかのような印象を受ける遠因ともなっている。メーカーや商社等の事業者の立場からすると、不安に駆られたさらに下流産業の顧客からの問い合わせに応じて、その都度実際に不足している原材料や部材、はたまた薬剤は何なのかということを正確に把握することが求められることから、いたずらに不安を煽るあいまいな報道は好ましからざるものであろう。

Table 1 「半導体」の様々な分類例 ([1] を部分修正)

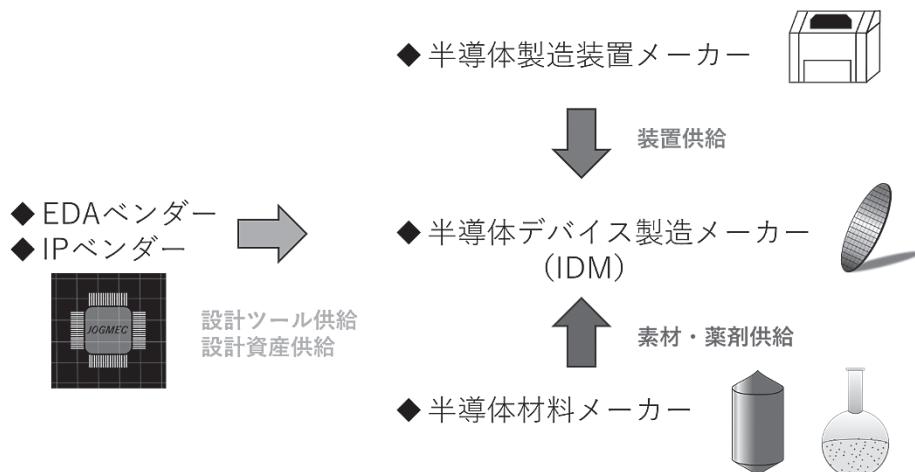
- ◆ 半導体元素／物質：Si、Ge、Se等／GaAs、InP、SiC、GaN等
- ◆ 半導体原料：ウェハ構成元素（の鉱石）、ドーパント元素（の鉱石）等
- ◆ 半導体ウェハ：Siウェハ、SiCウェハ、GaAsウェハ、GaNウェハ、各種エピタキシャルウェハ等
- ◆ 半導体デバイス：マイクロ半導体、半導体メモリ、ダイオード、サイリスタ等
- ◆ 半導体製造装置：薄膜装置、露光装置、エッチング装置、イオン注入装置等
- ◆ 集積回路（IC）：DRAM（メモリ）、CMOSロジックIC（ロジック）、CCDイメージセンサ（センサ）等
- ◆ 工程の薬剤：フッ酸、トリメチルホスファイト、トリメチルボレート等
- ◆ 搭載工業製品：自動車、PC、スマートフォン、その他家電等

なお、半導体産業のサプライチェーンを構成する各社の弛まぬ企業努力により、半導体デバイス自体の不足が頻繁に生じているということはないが、半導体サプライチェーンにおいて部分的な供給問題が生じやすいということは事実である。これは半導体原料から半導体デバイスを組み込んだ最終製品まで連なるサプライチェーンや製造工程が長大であるという産業構造の特徴に因る。

やさしい構造にあると述べた。詳細なサプライチェーン構造は [1-3] 等を参照いただくとして、例えば半導体垂直統合型デバイスメーカー（IDM、Eng.: Integrated Device Manufacturer）を中心に見た場合であっても Fig. 1 のような多方面からさまざまな供給を受ける構造となっている。IDM といえど、単独、またはグループ企業内ですべての半導体産業のサプライチェーンを担っているわけではなく、様々なメーカーから原材料や無形・有形資産の供給を受けて成立しているのである。

半導体産業のサプライチェーン構造

前章で、半導体産業では部分的な供給不足が生じ

Fig. 1 IDM を中心に見た場合の原材料や無形・有形資産の供給構造^[1]

なお、日本の技術的な強みは、製造装置におけるフォトレジスト周辺分野と、後工程における各種局所的技術や、専門用途部材であるとされている。関連する多くの企業が個社それぞれで局所技術や専門

用途部材を市場の寡占資産としていることが、現在においても半導体産業で本邦が一定の影響力を維持していることの要因の一つと考えられる。こうした企業群をすべて同時に買収するということは、現実

的に不可能である。

半導体デバイスの分類

身近になった「半導体」であるが、日常生活においては、半導体メモリ、ロジック半導体、パワー半導体（Eng.: Power Semiconductors）といった概念を耳にすることが多いと思われる。特に、データセンター関連需要や新エネルギー発電関連需要の増に連れて急激に市民権を得てきた「パワー半導体」とい

う用語についても、どういった位置づけにある概念なのか、いまいち整理ができていないという方も多いことだろう。著者もその一人であったため、整理のために下記のような分類図を作成した（Fig. 2）。パワー半導体がこれまで主流であった半導体メモリやロジック半導体と同粒度、並列の概念かというとそうではなく、半導体デバイスの中でも非 IC 系のサイリスタやパワートランジスタ等を包括した概念を指して、パワー半導体と呼称している。

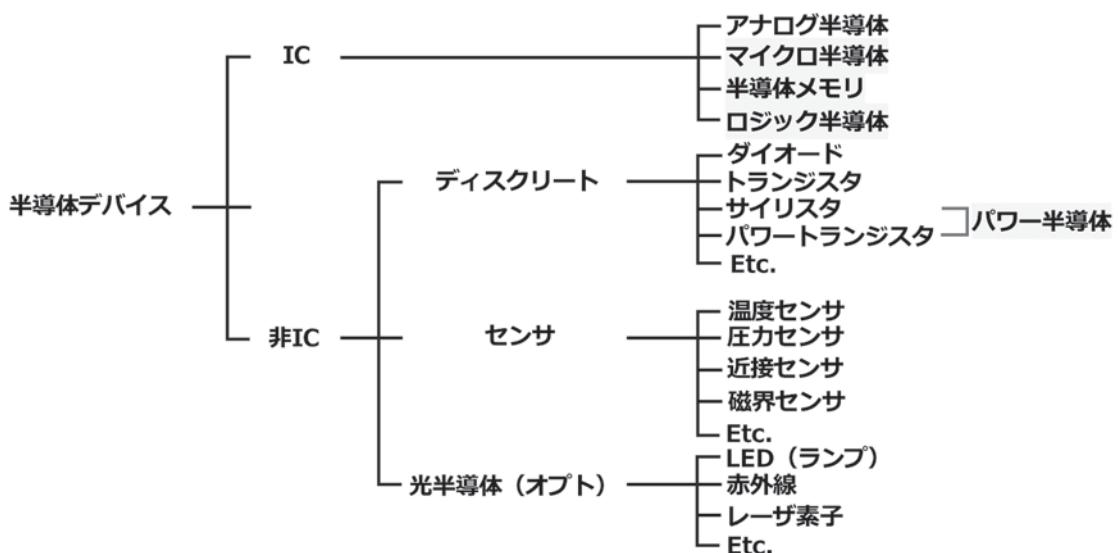


Fig. 2 各種半導体デバイスの位置づけ^[1]

また、半導体デバイスメーカーといえど、これらすべての半導体デバイスを1社で製造しているというわけではなく、当然、各社それぞれで特定のデバイスについては製造していないという場合が多い。正確な業界構造の理解にはこうした観点についても高い解像度での理解が求められる。特定の半導体デバイスメーカー1社の各種調達が充足している状況でさえあれば、あらゆる半導体デバイスの供給が安泰というわけではない、という事情も、半導体産業におけるサプライチェーンの恒常的な維持をより一層困難なものとしている。

パワー半導体

ここで、改めてパワー半導体に冠されている「パ

ワー」とは何を指しているのだろうか。この「パワー」は、類例でいえばパワーグリッド（電力系統、Eng.: Power Grid）のように電力を指している。必ずしも、従来半導体デバイスよりも性能的に優越しているということを意味しない。その名の通り、このパワー半導体の機能はとすると、電気に関連して、1. 直流から交流への変換（インバーター）、2. 交流から直流への変換（コンバーター）、3. 交流の周波数変換、4. 直流の電圧変換（レギュレーター）の四機能が主である。

半導体の基本的な原理については[1]において、かなり詳細に解説したつもりであるので、そちらをご参照いただきたい。ただし、原著^[1]でも真性半導体の解説のみに留めており、pn接合半導体については他の文献にあたっていただきたい。本稿ではパワー半導体関連の部分のみについて改めて触れるこ