

## 2.6 共通基盤科学技術

ナノテクノロジー・材料分野の基礎および応用を支える「共通基盤科学技術」区分には、「加工・プロセス」(微細加工プロセス、積層造形・レーザ加工)、「計測・分析」(ナノ・オペランド計測)、および「理論・計算科学」(物質・材料シミュレーション)が含まれる。

「加工・プロセス」のなかでも微細加工プロセスはナノメートルレベルの加工を可能とするナノテクノロジー・材料分野を支える重要な技術領域である。半導体デバイス領域で発展したこの微細加工プロセスは、半導体分野にとどまらず、ナノメカニクス、スピントロニクス、バイオナノテクノロジーなどへの波及が進んでいる。

本節では、大規模集積回路 (LSI) の高集積化を実現するためのシリコンの微細加工プロセスに絞り、10 nm 以下のシングルナノメートル領域に向けた最先端技術の現状、および開発課題について述べる。現状の ArF 液浸露光技術とマルチプルパターニング技術の高度化に関する取り組みに加え、極端紫外線 (EUV) リソグラフィ、ナノインプリント、原子層エッチング (ALE) などのトップダウン技術、原子層堆積 (ALD) やブロックコポリマー (block copolymer) の誘導自己組織化パターンなどを利用したボトムアップ技術などの研究開発が進められている。

積層造形・レーザ加工は高付加価値の多品種少量生産やカスタムメイド生産のための技術開発領域である。積層造形は付加製造 (Additive Manufacturing)、3D プリンティングとも呼ばれ、立体物を水平に輪切りにした断面データをもとに、樹脂や金属粉などをレーザまたは電子線で溶融させて薄い層を積み上げ、プラスチックや金属の立体物を製作する技術である。レーザ加工は、金属、セラミックス、ガラス、樹脂、生体などの材料に対し、除去 (切削・切断)、穴開け、曲げ、溶接・接合加工や表面加工、内部・体積加工を施すものである。いずれもデジタル・マニュファクチャリング技術であることから、IoT や AI との整合性が極めて良く、次世代のものづくりにおける重要な加工技術の1つとなってきた。また将来をにらみ、サイバーフィジカルシステム (CPS) を取り入れた新しい技術開発への挑戦も行われている。

「計測・分析」では、材料やデバイスに対する実使用下での時間分解計測、すなわち機能発現中に刻々と変化し続ける現象の実時間または経時観測により、測定対象のナノスケール構造と機能との相関を見出すことを目的としたナノ・オペランド計測を取り上げる。プローブとして走査プローブ顕微鏡 (SPM)、透過型電子顕微鏡 (TEM)、放射光 X 線、中性子線、レーザなどが利用されている。応用分野の大きなトレンドとしては、二次電池 (特に、Liイオン電池) があげられるが、それ以外にも、「オペランド」という用語が初めて使われた触媒分野、エネルギー変換デバイス (太陽電池、燃料電池など)、生命科学分野 (生きた細胞、生体関連分子など) にまで測定対象が広がってきている。

「理論・計算科学」の物質・材料シミュレーションは、物質・材料科学の基礎を支える重要な科学技術で、量子力学や統計力学の諸知見を活かし、物質の構造、物性、材料組織、化学反応機構などを高精度に解析・予測する技術の確立をめざす研究領域である。計算の分野としては、分子系電子状態計算、固体系電子状態計算、分子シミュレーション、モンテカルロシミュレーション、統計力学にもとづく積分方程式、連続体モデルなどがある。近年、マテリアルズ・インフォマティクスによる材料探索の高効率化や、量子コンピュータを利用する量子化学計算アルゴリズムの開発が新たな潮流となってきた。ナノテクノロジー・材料分野におけるグローバルな研究開発競争が激化するなか、計算物質科学やデータ科学を駆使したハイスループットな材料開発に大きな期待が寄せられている。