

結晶工学の未来

東京農工大学 佐藤勝昭

「結晶工学の未来」を語るには、「結晶工学の過去」から出発しなければならない。

結晶工学は、「主として単結晶についてその結晶成長の機構を明らかにし、結晶成長技術を確立するとともに得られた結晶の評価を行い、さらには、微細加工技術や半導体プロセス技術を駆使してデバイス構造を作製しそれを評価する」ことに関わる工学として捉えることができる。対象となる結晶は、酸化物の強誘電結晶、光学結晶に始まり、LSI 技術の基礎としてのシリコン単結晶、光エレクトロニクスおよび高速デバイスの基礎としての III-V 族化合物結晶、酸化物高温超伝導結晶、ワイドギャップ II-VI 族化合物。III-V 族窒化物と変遷をしてきた。

シリコン VLSI を支える結晶成長・評価技術、半導体レーザ技術を支える化合物半導体薄膜のエピタキシャル成長技術などが続々と開発され電子立国日本を支えた 80 年代は、結晶工学が最も輝いた時期だったのではないだろうか。バブルがはじけた後、失われた 15 年といわれる経済低迷期に、装置産業化した半導体技術の舞台は韓国・台湾に移った。この間 Si ウェーハの直径は標準が 30cm となり、最近では 40cm へとさらなる大口径化が進みつつあるが、結晶工学は今も結晶成長を下からしっかりと支えている。

90 年代以降インターネット時代の到来と共に、光ファイバ通信技術が飛躍的に発展し、半導体レーザの基板としての GaAs 単結晶育成技術が確立された。同時に、携帯電話、携帯情報端末の急速な発展は、GHz 帯の高速電子デバイスの発展を促し、化合物半導体の性能向上をもたらした。

日本で開発され、市場を制覇した窒化物青色発光素子の成功は、結晶工学の勝利といえることができる。格子整合しないサファイア基板へのエピタキシーは高濃度のミスフィット転位をもたらした。これの解決のために ELOG 基板などを用いたラテラルエピ技術が応用されたが、長年にわたる基礎研究が実を結んだと言えよう。しかしヘテロエピでは、どうしてもミスフィット転位の導入は避けられない。最近ではホモエピをめざし窒化物基板単結晶が得られるようになってきた。窒化物発光ダイオードの用途は、情報表示用にとどまらず、高効率を活かして将来的には、蛍光灯を超える新しい照明用光源として、大きなマーケットが展望されている。

最近になり、酸化亜鉛結晶が注目されており、次世代ワイドギャップ材料として新たな注目を集めている。ここにも結晶工学の出番が期待される。

スピニエレクトロニクスの分野においても結晶工学で培われた技術が生きている。Mn 添加 III-V 族系磁性半導体では、低温成長技術により、高濃度の Mn 添加が実現した。さらに Mn の δ ドープ技術によりキュリー温度の飛躍的上昇が実現している。

また、最近 MRAM や磁気ヘッドに用いられる磁気抵抗(MR)素子においても結晶工学による進展があった。磁気トンネル接合(MTJ)のトンネル障壁として酸化マグネシウム単結晶を用いることで、強磁性体電極からの波動関数の接続性が向上し、200% を超える磁気抵抗比をもたらした MTJ の実用化を促進しつつある。

単結晶だけでなく、多結晶体の技術の進展も結晶工学の守備範囲である。液晶ディスプレイ用の多結晶薄膜トランジスタ、太陽電池用多結晶薄膜、無機 EL 材料など枚挙にいとまない。

これからは、バイオの時代である。タンパク質の結晶構造を特定することは重要である。このためには、良質の単結晶を収率高く作製する技術の確立がのぞまれていた。最近パルスレーザを用いた人工的な核発生と攪拌の技術により、良質のタンパク質単結晶を得る技術が日本で確立されたことは喜ばしい。

しかし、最近の新しい材料を眺めると、必ずしも結晶性の材料に限られているわけではない。例えば、フレキシブル自発光ディスプレイとして注目の有機エレクトロルミネッセンス(英語では OLED)デバイスに用いられる有機材料は決して結晶材料ではない。電界放出形ディスプレイの電極材料として期待されるカーボンナノチューブ(CNT)も結晶ではない。

50 周年というおめでたいイベントに、不謹慎な表現であるが、私は、「結晶」に対するこだわりを捨てることこそが「結晶工学の未来」を語るために重要であると思っている。もちろん、私は長年にわたって結晶工学分科会に育てられ、結晶工学分科会を育ててきたので「結晶工学」という言葉に強い愛着を感じるものである。私は結晶工学が培ってきた技術を「結晶」を含む広範な材料科学において、活かしていくことが、発展の鍵であると信じている。