

溶液成長の移動現象に関する理論的基礎

Theoretical Basics on Transport Phenomena of Solution Growth



○諏澤 寛源(反射層付LED(DBR-LED)創始者)

○Hiromoto Susawa (The Originator of LED with Distributed Bragg Reflector)

E-mail: automobile_21@yahoo.co.jp

本大会「応用物理ハンドブック第7章結晶成長等の再考」で、理論的背景を知ることの重要性を議論した。発光デバイスなどに応用される溶液成長 (Liquid Phase Epitaxy) の支配要因を考察する上で、初期のころは、固液界面を平衡として扱い、それを記述する相図を検討していた。マルチスケールという点では、ミクロ、メゾスコピックな検討である。次の段階で、成長速度を扱うために、溶液の過飽和を考慮し、溶質の拡散を検討した。ここで、マクロスコピックな検討にシフトした。さらに発展したモデルでは、溶液内の対流を考慮することになる。対流は、拡散より大量の溶質を成長界面に供給できる。そのひとつの極限が気相成長である。溶液成長に伴う成長界面での「平衡」は、長所であるが、溶質が十分溶けない場合、成長困難になり、短所になる。対流は、これを克服できるので、注目されている。ここで、上述の発表で指摘したように、「対流」は、自然対流を指すと限らないことに注意したい。

自然対流は、発生までに何ステップも踏む。流体が膨張し、浮力が発生する。その浮力により、流れが発生する。膨張の原因は、温度の上昇であることが多い。

対流の中には強制対流がある。強制対流は、何らかの強制力で発生する対流である。「自然対流」と表現されている対流を「強制対流」とは言わない。ただし、自然対流と強制対流が共存する流動は存在する。強制対流は、理論的考察をする場合、条件を流体の速度で与えれば設定できるので便利である。物質の成長を考察する上で、拡散に対して、流れがどのように影響するかを調査するには、強制対流を設定する方がわかりやすい。特に、成長前に、溶液を調整してから、基板上に成長する場合、必ず強制対流が発生する。例えば、スライドボード式の Liquid Phase Epitaxy (LPE) がある。

拡散や対流は、移動現象に含まれる。移動現象を扱う工学には、機械工学や化学工学がある。しかし、応用物理分野と連携がとれていない。機械工学や化学工学では、新しいテーマに挑戦することを望みたい。化学工学分野では、ある時点での判断が永遠に正しいとは限らないにもかかわらず、否定された研究を再考しないのは問題である。また、否定が、その時点でも道理に合っていないことすらある。応用物理分野と化学工学分野では、論文に対して購読料が設定しており、互いの研究を調査するにはハードルがある。化学工学分野の業績を引用しても、応用物理分野側は、その論文を入手できないというケースがある。Light Emitting Diode (LED) の開発は、応用物理分野が中心となっている。この開発において、応用物理分野が注目するところと、従来の機械工学や化学工学が注目するところが異なる。応用物理分野にとっては、流動現象は、成長のための補助的手段なのに対し、機械工学や化学工学では、流動そのものがテーマとなることが多い。その場合、結晶成長は、流動のための境界条件として扱われ、考察対象としての優先順位が下がる。そのため、LEDの開発にとって本質的でないところで停滞してしまうことになる。もし、機械工学や化学工学の業績を有効に活用できたなら、青色LEDは、必然的に発明されたかもしれない。機械工学や化学工学が応用物理分野に目を向けてくれることを期待するのもひとつの手段だが、応用物理分野自ら移動現象に注目することも価値がある。

本発表では、まず、対流のない理想的な場合の基礎式を確認する。固溶体の成長に適用したとき、数学的に固相の組成が一定になることを述べる。これは対流を考慮する上で重要な定理である。これを踏まえなければ、実験においても、数値シミュレーションにおいても、さらに発展した研究の計画性が乏しくなる。そして、対流を考慮したときの現象を概観する。

溶液成長の理論的検討は、現在、本講演会に関する内容を査読して出版する Japanese Journal of Applied Physics は扱っていないので、収録可能な雑誌があれば、ご紹介ください。