

巻 頭 言

結 晶 成 長 の 自 己 組 織 化



福 井 孝 志

分子線エピタキシー(MBE)あるいは有機金属化学気相成長(MOCVD)を始めとした半導体結晶成長技術の進展が、1原子層単位での成長制御を可能にしてから久しい。一方で、半導体デバイスの微細化、高集積化、あるいは高機能化の研究とあいまって、最近、量子細線、量子箱構造など、原子配列を2次的、あるいは3次的にナノメートルのサイズで制御する結晶成長技術の研究が盛んである。ただし、もともと均一な薄膜を成長するために開発されてきたMBE、MOCVDを利用しているため、立体構造を作るための「仕掛」が必要となる。

具体的な例として、微傾斜表面上の原子ステップを利用した量子細線、歪の効果による3次元成長を利用した量子箱、基板結晶上を絶縁膜で部分的に覆うことによる選択成長がある。詳細は、本特集号のそれぞれの解説記事に譲るとして、共通のキーワードを探るとすれば、それは“結晶成長の自己組織化”すなわち結晶成長に携わる原子集団が自ら立体形状を決めていくことを利用していることである。

汎用の集積回路作製技術では、人が書いた設計図どおりの形に半導体・絶縁体・金属が加工されることを基本とするが、上記の方法では、最終的な構造は、すべて結晶成長の性質に大きく依存する。原子ステップを利用した方法では、テラス上を拡散する原子のステップへの取り込まれ方により、単原子ステップが均等に並んだり、あるいはステップ同士が会合し(バンチング)多段ステップが形成される効果(Schwoebel効果)を利用し、歪みの効果を利用した方法では、格子定数差による歪みを緩和するため3次元の結晶成長(Stranski-Krastanov)モードが生じることを利用する。いずれも高度な加工技術を必要としない、非常に小さなサイズが自然にできるなど、利点も多いが、位置とサイズに揺らぎが残る欠点がある。選択成長法でも、表面エネルギーの低い低指数面で囲まれた特定の形状の構造が得られるが、最初の基板加工の時点の位置とサイズの精度がそのまま反映される。

自己組織化機構を利用した半導体立体構造の成長は、結晶学、表面科学としてはたいへん興味深い研究であるが、実用的なデバイスを作るという観点からみると、研究がまだ黎明期にあるという点を割り引いても、甚だ心許ない。特に、揺らぎの問題に関しては、もう一工夫必要であり、関連する研究者(私自身も含め)の奮起を大いに期待したい。

余談になるが、われわれ人間集団も、雨の日など、「後続のバスをご利用ください」という運転手の金切り声を無視して、不必要に路線バスをバンチングさせたり、広い喫茶店で、隅の方のテーブルから選んで座っていくなど、身近なところで、第三者の意図とかかわりなく“自己組織化”を引き起こしている。

(北海道大学量子界面エレクトロニクス研究センター)