



縦のスペースを利用した デバイスづくり

新潟大学 齊藤健二

樹木は、縦に成長する。これは、近くの樹木より少しでも多くの太陽光を葉で吸収させ、光合成によって炭素を固定化すること、さらには子孫をより多く残す（花粉や種を遠くまで飛ばす）ための工夫であるといえる。限られたスペースを有効活用し、性能を最大限に高めている本自然現象は、比表面積が重要なパラメーターとなるデバイス設計の一助にもなると考えられる。本稿では、半導体を縦に成長させる技術を概説した後、関連研究についてふれる。

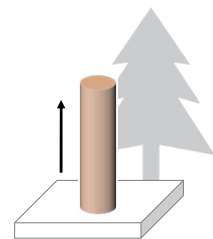
本質的に異方性の結晶構造をもつ場合を除き、本来は三次元的に成長するバルク結晶を特定の方向へ優先的に成長させるための基本方針は、ある方向への成長速度を他の方向よりも早める、もしくはある方向以外の成長を抑制することである。一方向に伸長した構造体（以降、ナノワイヤーとよぶ）を基板から垂直にボトムアップ成長させるための方法は、Au等の金属触媒を用いる場合と、用いない場合の二種類に大別される。前者としては、1964年にWagnerとEllisによって報告されたVapor-Liquid-Solid (VLS) 機構があり¹⁾、その後の実験・理論研究の大きな進歩により、広く活用されている。VLS成長も通常の結晶成長と同様、相間の化学ポテンシャル差を駆動力とするが、大きな違いは金属触媒とその下にある固体（基板または成長物質）との界面に結晶成長が制限される点にある。具体的には、基板上に配置された金属が加熱により液滴となり、気相から供給される成長物質の成分を取り込んで合金化する。取り込まれた物質の濃度が増加して過飽和に達すると、基板との界面で成長物質が析出する。つまり、成長物質が気相、液相、固相の順に移動するのがVLS機構である。金属触媒が固相のままの場合もあり、Vapor-Solid-Solid

(VSS) 機構とよばれる。結晶成長の起点が金属酸化物の場合もある。

金属触媒を用いない方法は、VLS機構に比べて理論的検証が乏しいものも含まれるが、異方成長や自己触媒的VLS機構をはじめ、多数報告されている。1951年に提案されたBCF (Burton, Cabrera, Frank) 理論のように、らせん転位によって非常に小さな駆動力でナノワイヤー成長する系もある。

一方、垂直ナノワイヤー構造を（光）電極触媒として利用するには、基板の導通を確保する必要がある。よって、高温で結晶成長させる場合、基板選びがポイントの一つとなる。その点では、成長成分の金属の板から直接、ナノワイヤーを垂直成長させる方法はメリットがある。例えば、金属Nb板を酸素とアルゴンの混合ガスフロー下で焼成すると、Nb₂O₅ ナノワイヤーを垂直成長させることができる。板内部の金属は残留するため、表面酸化層の一部を除去すれば、そのまま電極として利用することができる。さらに、異種金属をNb₂O₅の格子内にドーピングすることや、Nb板を薄くするだけで粉末へと変換することも可能である²⁾。通常、垂直ナノワイヤーの基板と粉末は異なるアプローチで得られるため、同等の結晶の質で形態を作り分けられることも、合成のスループットの点で有利である。ここで、天然の樹木と同様、長く伸ばし過ぎることはあまりメリットにならないが、合成時間の変更によって長さの調整も可能である。先述したVLS機構を利用し、ナノワイヤーの側壁に異種物質の枝管を生やす報告もなされている。

成長物質の種類がより多様化し、汎用性の高い合成ツールとなることに今後期待したい。



参考文献

1. Wagner, R. S.; Ellis, W. C. *Appl. Phys. Lett.* **1964**, *4*, 89.
2. Shinohara, T. *et al. Sci. Rep.* **2017**, *7*, 4913.