

IV族系ガスソース MBE からグラフェン・オン・シリコン技術まで

From Group-IV GSMBE to Graphene-on-Silicon Technology: A Brief History

東北大通研 °末光 真希

RIEC, Tohoku Univ., °Maki Suemitsu

E-mail: suemitsu@riec.tohoku.ac.jp

1980年4月に東北大通研助手として採用され、最初に与えられたテーマはSi分子線エピタキシー(MBE)技術の開発であった。しかし電子線をSi結晶に照射してSi分子線を作る固体ソースがなかなか安定動作しない。研究室で並行して行っていた常圧CVDの研究を見ながら、常圧CVDで使うSi化合物分子を分子線に使用すれば、分子線源の不安定動作問題が回避できると考えた。IV族系ガスソース(GS)MBE技術の誕生である。

GSMBEモードでSiのエピ成長を行うことで、良いことが二つあった。一つは低温で高品質のエピタキシーが可能となったことである。結晶成長とは次々と運び込まれる荷物を倉庫の中にきちんと順に積んでいくようなものである。低温になると積み重ねる作業効率が落ちるので、荷物を捌ききれなくなると結晶性が低下する。しかしそんな低温でも、作業能率に合わせて原料ガス供給を下げてやれば、きれいな結晶ができる。第二のメリットは、超高真空下でしか機能しない表面分析手段(TPD、RHEED、LEED、XPSなど)が併用可能になったことである。このことによりSiCVD成長の表面化学反応の理解が格段に進んだ。とくに原料ガスが持ち込む水素が結晶表面を覆い、その水素脱離が結晶成長を律速することが低温成長の特徴であることが明らかになった。事情はSiをSiGeやPドープSiに替えても基本は変わらず、普遍的な表面化学であった。

IV族系エピを順番にやってきて、これから大事なものはSiCであろうと思い至った(1995年)。Si系エピの表面化学スキームをそのまま使いたく、単分子でSiC成長が可能なガスとしてモノメチルシラン(MMS)にたどり着いた。MMS-GSMBEの表面化学は予想以上に複雑だったが、原料ガス圧と基板温度のバランスが大切というSiの経験がここでも生かされ、3C-SiCの低温成長に成功した。これでパワーデバイスをとっていた頃、六方晶SiCバルク基板が急速に高品質化し、3C-SiC薄膜の居場所がなくなってきた。思い悩んでいたところへ同僚(その名も末光哲也先生)から福音がやってきた。SiC上にグラフェンという超高移動度材料が出来るらしい、私のエピ技術とリンクさせれば、Si基板上にエピグラフェンができないか——と言う。これがGOS技術開発のきっかけとなった。忘れもしない2007年春の応物学会(青山学院)の食堂での話である。

GOS技術はその後、Si基板面方位を介してグラフェンの電子物性(金属/半導体)を制御可能、あるいはSi-MEMSで培われた表面微細加工技術を用いることで2種類のグラフェンを同一基板上に実現可能といった特質を明らかにしてきた。課題となるSiC結晶品質もSi(110)基板上にSiC(111)が成長する回転エピ成長やAIN中間層の挿入で、解決の糸口が見えている。

一連の研究成果のすべては研究室の学生諸君とスタッフによって遂行された。学内外の多くの共同研究者の方々のご協力と併せ、この場を借りてあつく感謝申し上げたい。