



News letter

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究
 領域略称「人工光合成」領域番号 2406
 人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：
 実用化に向けての異分野融合

実用化への道 —SiC を例に：情熱と方向転換—

A03 班 加藤 正史

私は 2013 年よりシリコンカーバイド(SiC) という材料を光電極に用いるという提案で、それまで未知の分野であった本領域に参画させていただいている(2015 年からは単結晶光触媒評価に関する提案で参画)。SiC はパワー半導体素子として近年実用化に至った材料であり、私は本来パワー半導体素子としての SiC の電気特性を評価していた研究者であった。この SiC パワー半導体素子は、実用化に至るまでの道に紆余曲折があった。人工光合成技術も将来の実用化という目標に向かっており、参考になればという考えで SiC パワー半導体素子の実用化経緯を紹介する。

SiC を半導体素子に利用するというアイデアそのものは、実は半導体素子の黎明期(1950 年頃)より存在した。しかしながら、良質な結晶を得ることが困難であり、シリコン(Si)素子の爆発的な普及に伴い、SiC を研究する研究者はいなくなっていく。その中で、綿々と SiC の研究を行っていたのが京都大学の松波弘之氏(現京都大学名誉教授)であった。1970 年頃より SiC 結晶成長技術を継続的に研究し、西野茂弘氏(現京都工繊大名誉教授)らと共に 1980 年頃に立方晶 SiC(3C-SiC : SiC は多形を示すため、様々な結晶構造がある)の Si 基板上大面積成長[1]および 3C-SiC を用いた世界初の SiC 金属-酸化膜-半導体構造トランジスタ(MOSFET)[2]を実現した。また、液相成長による六方晶 SiC(6H-SiC)を用いること[3]で SiC 青色発光ダイオード(LED)の実用化(1980 年代後半三洋電機より販売)に漕ぎつけた[4]。しかしながら、Si 基板上の 3C-SiC は、ヘテロ構造に起因する結晶欠陥を多数含むため電気特性に限界があり、実用化に到達しなかった。また SiC 青色 LED は、より明るく光る窒化ガリウム(GaN)青色 LED が実現したため、その役目を終えた。しかし松波氏はここで諦めずに、SiC のパワー半導体素子応用の可能性を信じ、更なる結晶成長技術改善に取り組んだ。その結果得られたのが、ステップ制御エピタキシーという結晶多形安定化技術であり、それによる高品質 SiC 結晶である(1987 年頃)[5]。さらには、ステップ制御エピタキシーにより得られた高品質 SiC 結晶(この時の多形は 4H-SiC)を用いて、従来の Si パワー半導体素子では成し得なかった高耐電圧・低損失という特徴を有するショットキーバリアダイオード(SBD)を実現した[6]。

この高耐電圧・低損失 SBD の実現はパワー半導体業界に衝撃を与え、インフィニオン社による SiC SBD

の実用化(2001 年より市販、世代交代しつつ現在も販売)に繋がった。現在ではステップ制御エピタキシーによる高品質 SiC 結晶を用いた SiC MOSFET も市販されている。松波氏の研究はその後、木本恒暢氏(現京都大学教授)に引き継がれ、そして SiC パワー半導体素子の研究分野・適用範囲は今もなお拡大している。

このように SiC に関する技術は、松波氏を中心とした研究グループの尽力により、応用のターゲットを変えながらも発展し、パワー半導体素子として実用化に至った。ただし前述のように、松波氏が SiC の研究を開始した頃は、半導体としての可能性が疑問視されていた時期であり、SiC を研究しているのは彼ひとりだと言われるほどだったという。その困難な時期をどうやって乗り越えたのか個人的に興味があり、直接尋ねてみたことがある。その答えはただ一言、「情熱だよ」であった。この言葉から愚考した結果、松波氏は研究に対して並外れた情熱を持ちつつ、応用ターゲットを方向転換させながら、SiC という半導体材料を発展させてきたのだ、という解釈を私はしている。

人工光合成の研究においても、実用化に向かう道中に、立ちほだかる壁は多いであろう。時には、研究者が自信を持っていた材料や構成などが否定される場面が来ることもあるだろう。しかしながら、SiC パワー半導体素子の例に見られるように、研究者が情熱と方向転換の柔軟さを持ち合わせることで、実用化まで到達させることが可能なのではないだろうか。

個人の話で恐縮であるが、私も本年妻の突然の死を迎え、研究者としてのみならず一人の人間としても大きな方向転換を迫られた。しかしながら、研究への情熱は失っていない。今後も本領域の一員として活動し、夢の技術とも言える人工光合成の発展に貢献するつもりである。最後に、妻の闘病中・没後において本領域の方々からいただいたご支援に対し、感謝の言葉を述べたいと思う。皆様、ありがとうございました。

[1] S. Nishino *et al.*, *J. Electrochem. Soc.* **127** (1980) 2674.

[2] K. Shibahara *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **23** (1984) L862.

[3] H. Matsunami *et al.*, *IEEE Trans. Electron Dev.* **24** (1977) 958.

[4] K. Koga *et al.*, *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.* **23** (1992) 127.

[5] H. Matsunami *et al.*, *Mater. Sci. Eng. R* **20** (1997) 125.

[6] A. Itoh *et al.*, *IEEE Electron Dev. Lett.* **16** (1995) 280.



新学術領域「人工光合成」ニュースレター

第 3 巻・第 9 号(通算第 33 号)平成 27 年 12 月 1 日発行

発行責任者：井上晴夫(首都大学東京 都市環境科学研究科)

編集責任者：八木政行(新潟大学 自然科学系)

<http://artificial-photosynthesis.net/>