



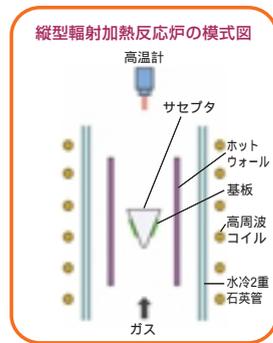
材料科学研究所 主任研究員  
土田 秀一

## 省エネルギーは、地球が直面する最大の課題。 新しい素材の開発で、次代を切り拓いていきたい。

### SiC一筋の歩みから、10倍の成長速度を実現

電力輸送にとって、低損失化や高性能化の要となるのが半導体素材。その主役といえばシリコンだが、シリコン単結晶の機能を限界まで高める試みの一方で、新素材が待望されている。その本命は、シリコンとカーボンとを1対1で結合させたSiC（シリコンカーバイド）。絶縁破壊電界強度、熱伝導率、許容動作温度などでシリコンを大幅に凌ぐ。次世代のパワーエレクトロニクス技術にとっては、まさに切り札的な新素材として見込まれるが、高品質で大きな単結晶の作製や量産が課題とされている。エピタキシャル法によってSiCの単結晶膜の作製と、その性能の評価技術に取り組んでいるのが、材料科学研究所（神奈川県横須賀市）の土田秀一主任研究員が率いるチームだ。

SiCの素子化には、2段階の結晶成長のプロセスがある。まず種結晶を元に、加熱昇華させた粉末を原料として結晶成長を行いバルク（円柱）状にする。土田氏らが開発を進めているのは、ここから円盤状に切り出された市販の基板の上に、モノシラン（ $\text{SiH}_4$ ）やプロパン（ $\text{C}_3\text{H}_8$ ）のガスを原料として単結晶膜を積むプロセスだ。入所以来ほぼSiC一筋といってもいい土田氏は、この膜成長の速度を研究開始当時の10倍にも速めた。ブレイクスルーとなったのが、従来は横型に反応系を配置していた炉を、ガスを下から導入し上部から排出させるという、自然対流と合致した縦型の炉へと転換したことだ。独自の縦型放射加熱反応炉は、97年から第一号機が稼働。現在は、1気圧の約1/20という低気圧下で反応が得られるため、結晶の高純度化が可能となった。縦型炉は、民間企業によってすでに製品化されている。



また、市販のSiC基板には中空状の結晶欠陥（マイクロパイプ）が存在しているが、まず表面にマイクロパイプを閉塞するための結晶層を成長させた後に、厚い活性層を連続的に成長させる手法で、マイクロパイプを99.6%閉塞させることにも成功。これらの研究で2004年9月の応用物理学学会論文賞に輝いた。

### エネルギーの未来は、材料にあり

素子化技術では、土田氏は、SiC単結晶界面と金属電極の整流作用を利用したショットキーダイオードといわれる素子を試作。膜厚で200 $\mu\text{m}$ 、耐電圧は理論値で20~30kV、実測でも14.4kVを実現している。SiCをインバーターのような電力変換装置に組み込めば、家電や燃料電池、ハイブリッドカーに搭載できるほか、電車のような大規模輸送への貢献も大きい。土田氏が見据えているのは、電力輸送分野における大幅な省エネルギーだ。「SiCの半導体を使えば、パワーエレクトロニクス機器の損失が約1/3になるのではないかと期待されています。電力技術にとって極めて大きな数字で、装置もコンパクトにできるし、その適用範囲も拡大して、より効率性の高い電力輸送が実現できるはずです」。

学生時代に電子機器工学を修め、高電圧の発生装置を研究する傍ら、省エネルギーに強い関心を寄せていた土田氏にとって、SiC開発はまさに打ってつけのテーマといえよう。とはいえ、材料研究は、電中研にとっても果敢なチャレンジだった。入所当時、電中研ではエネルギーの未来が材料にあると考え、新たにモノづくりの領域へ踏み入るという決断を下したうえで、土田氏に最初の2年間、新半導体に関する調査や、外部での材料研究の研修を認めた。その組織の懐の広さが今日につながっていると、土田氏は振り返る。電力開発・輸送事業を材料にまでさかのぼる構想は、昨年立ち上がった材料研究所という形でその奥行きを広げている。土田氏のチームも6人に増え、SiCの開発と評価を両輪で進めることで、高い信頼性を生んでいる。「SiC素子の優位性が実証されてきましたが、単結晶膜のさらなる高品質化とともに、量産技術やコストなど、越えるべき壁がまだまだあります」。研究のフロンティアの広がりと共に、土田氏の歩みもとどまるところを知らない。

