

# シリコンパワーデバイスの発展と新材料デバイスの展開(連載1)

岩室 憲幸

筑波大学 数理物質系

## はじめに

東日本大震災は、甚大な社会的インパクトを与える結果となっており、そこからの復興には新しい社会の創造が必要とされている。これは単純な復旧とは異なり、環境にやさしい安全・安心な社会の構築へ向かうことを意味している。そんな中、パワーエレクトロニクスの中核部品であるパワーデバイスの果たす役割は大きい。最近では、シリコンデバイスは特性限界に近づきつつあると言われ、SiCやGaNなどの新材料デバイスの製品化の報道も目立ってきた。今後新材料パワーデバイスは伸びていくのか、シリコンパワーデバイスとどう共存していくのか。パワーデバイスに馴染みのない読者の方々にも理解いただけるよう、まずは「パワーデバイスとは何か」から説明し、その後、現在の主役であるシリコンパワーデバイスの発展とその過程を振り返り、それを受けての新材料デバイスの今後の展開について、数回にわたり解説していくこととする。

## 第1回 パワーデバイスって何？

私たちが社会生活を営む上で、エネルギーは必要不可欠なものである。現在、私たちが利用しているエネルギーは、熱、化学、そして電気の3種類であるが、このなかでも電気エネルギーは輸送性、利便性が特に高いことから、電力系統という広域ネットワークを形成し、広く社会に浸透している。しかしながら、2011年3月11日に発生した東日本大震災は、人的・物的被害の大きさとともに、日本全体の電力系統・供給に深い影響を与え、甚大な社会的インパクトを与える結果となってしまった。そしてそこからの復興には新しい社会の創造が必要と言われており、これは単純な復旧とは異なり、再生可能エネルギーを活用し、かつ環境にやさしい安全・安心な社会の構築へ向かうことを意味している。エネルギー創造の分野では、低環境負荷化や石油・石炭に代表される化石燃料への依存度の低減に向けて、太陽光、風力の利用に関する検討が進んでおり、またエネルギー消費の分野においても、例えばガソリン車から電気自動車・ハイブリッドカーへ、また熱源のヒートポンプ化やIH(誘導加熱)化など、従来は電気エネルギーが使われていなかった領域で、電気エネルギーの利用がますます増えてきている。つまり、今後も電気エネルギー、すなわち電力への依存度は堅調に上昇し、将来的にも電力がエネルギーの中核をなすものと考えられる。

パワーエレクトロニクスとは、エレクトロニクスで電力を制御する技術のことであり、具体的にはパワーデバイスを用いて電力を制御し電力をより使いやすい形に変換する技術である。近年の電力制御・変換の高度化、さらには電力不足の顕在化を受けての省エネルギーに対する要求が一層高まる中、パワーエレクトロニクス機器に対してもより一層の高効率化、高機能化が求められている。パワーエレクトロニクスによる電力制御は、パワーデバイスによる低抵抗・高速スイッチング技術によって成り立っており、パワーデバイスの性能が電力

制御の性能を左右すると言っても過言ではない。現在のパワーエレクトロニクスはシリコンパワーデバイスがその中心であるが、近年ではシリコンの物性値で決まる限界に近づいてきたと言われており、今後のパワーエレクトロニクス装置の高性能化に必ずしも対応しないのではないかと、との懸念も示されている。

前述のように、パワーエレクトロニクス機器は、パワーデバイスに電流を流したり、切ったりすることで電力制御を行う。つまりパワーエレクトロニクス機器の中でパワーデバイスは、「スイッチ」として動作するのである。このパワーエレクトロニクス機器の高効率化は、いかに損失を発生することなく電力を制御するということをしている。ということは、パワーデバイスに要求される性能は、スイッチとして動作する際に損失が小さいこと、具体的には①電流導通時の抵抗が低いこと、②スイッチング速度が速いこと、ということが分かる。さらに③動作中にスイッチが壊れないこと、以上の三つがパワーデバイス必要とされる重要な特性となる。ところがこの三つの特性はすべてトレードオフの関係にあり、これらを同時に改善していくことがいわゆる“パワーデバイスを開発する”ことになるのである。

そこで、このパワーデバイスの最新開発動向を知るために、パワーデバイスで権威のある国際学会「ISPSD」(International Symposium on Power Semiconductor Device & ICs)で動向をみると、過去10年間の分野別論文数の推移は、シリコン IGBT やシリコン MOSFET の発表が群を抜いており、それに SiC や GaN に代表される新材料パワーデバイスが続いている。これらパワーデバイス分野への関心の高さを示している原動力の一つには LSI ウェハプロセス技術のパワーデバイスへの導入によりパワーデバイスとしての特性向上が著しいことと、パワーデバイス独自の設計技術やプロセス技術において、幾つもの革新的で興味ある報告がなされていることである。例えば最近のシリコンパワーデバイス分野では、パワーMOSFET でエピタキシャル層を幾重にも重ねたスーパージャンクション構造の実現や、図1に示すようなIGBTでウェハを極限まで薄くしたフィールドストップ型 IGBT の開発・製品化などが注目されている。さらに、シリコンデバイスの物性限界を超えて劇的に損失を低減できる、期待の新材料としてのSiCやGaNの発表も堅調である。特にSiCでは量産化を見据えた発表も増えてきており、SiCパワーデバイス専用の試作ラインを構築して、図2に示すようにMOSFETやショットキーバリアダイオード(SBD)を作製している例も発表されている。

今後のパワーデバイスの将来を考える上での重要な課題として、MOSFET や IGBT などのシリコンデバイスからSiCに代表される化合物半導体にいつ、どのように移行するかというところにある。上記スーパージャンクション構造やフィールドストップ型 IGBT の登場でシリコンデバイスは特性限界に近づきつつあると言われており、いよいよSiCやGaNに代表される新材料パワーデバイスの登場も現実味を帯びてきた。これは最大電界強度がシリコンに比較して一けた高いという物理的な特徴を活かし、特に高耐圧領域での低オン抵抗化への期待が大きいことによる。反面、最近の発表データを見ると、オン抵抗や高速スイッチング特性に代表される低損失特性は目を見張るものの、長期信頼性に関してはSiC・GaN特有の課題に未だ解決の余地があるようである。現在のシリコンパワーデバイスに置き換わるには克服しなければならない技術課題も多く、技術的なブレイクスルーが期待される。

今後数回にわたり、シリコンパワーデバイスの開発の歴史を振り返りながら、シリコンならびにワイドバンドギャップ化合物パワーデバイスの最新の技術動向と今後の展開について述べていきたい。

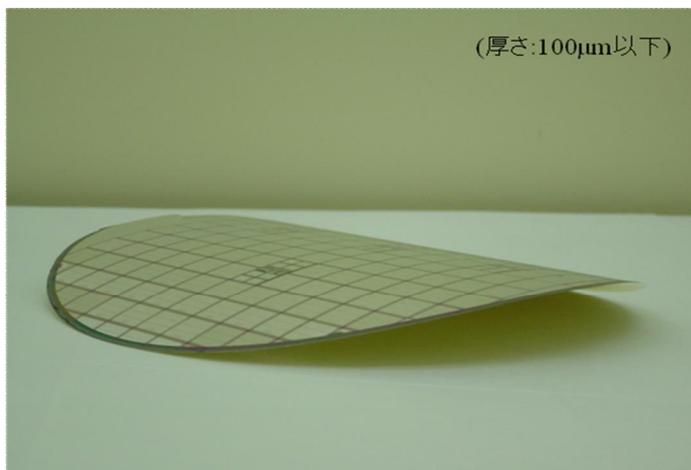


図1. フィールドストップ型 IGBT(富士電機 株提供)

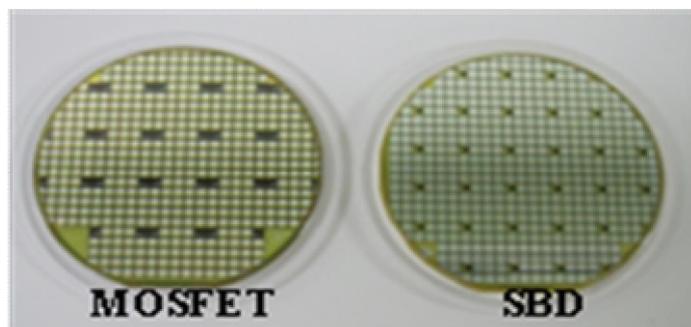


図2. SiC専用ラインで試作したSiC-MOSFET, SBD((独)産業技術総合研究所提供)