

超低損失パワー半導体技術

樋口 登

ひぐち のぼる (独)産業技術総合研究所
 パワーエレクトロニクス研究センター
 次世代パワーエレクトロニクス 実用化チーム チーム長

1. はじめに

このところ世界的な自動車の売り上げを眺めてみると、ガソリンエンジンとモータを併用するハイブリッド車 (HEV: Hybrid Electric Vehicle) に対する人気は高まるばかりである。勿論この背景には、地球温暖化防止の観点から CO₂ 排出を抑制し、環境問題を少しでも緩和したいとする運転者の意志が働いているが、燃料価格の高騰の現状と将来への見通しも大きな要因となっているものと考えられる。

このベースにあるのは石油を初めとする化石燃料資源の「枯渇」への見通しである。広く理解されているのは、「石油は、あと 40 年程度で枯渇するといわれる。しかし、毎年新たな埋蔵量が確認されており、まだ当分の間は利用を継続できる」とするものであろうが、現実には楽観を許さない。

1956 年に米国の地球物理学者、M. King Hubbert は 1970 年代には米国の原油生産はピークを迎えると主張した。これを文字通り受け取るものは少なかったが、現実には彼の主張の通り推移した。米国 48 州の原油生産は現在に至るも継続されているが、1970 年以来量的には下降線をたどり続けている。これは「Hubbert ピーク」と呼ばれ、Hubbert は米国の石炭生産の実績を元に「生産量のピークは埋蔵量を半分消費した時に現出する」と推論した²⁾。

その後 Collin J. Campbell はハーバードの理論を世界の原油生産に適用し、1998 年、Scientific American に原油生産のピークは 2004 年に来るものと発表した²⁾。反論はあるものの、これを是とするものは多い。「2004 年」の確度はともかくとしても、すでにその時代に突入している、あるいはすぐにも突入する可能性は高い。この意味するところは、直ちに枯渇に備えなければならないというのではなく、生産量の

ピークを過ぎると価格が急に上昇を始めるというこれまでの経験に基づく現象である。現在の原油高にはいろいろな理由が取りざたされており、この「枯渇論」も一種の陰謀であるとする者もあるが、省エネ技術の重要性には変わるところがない。

これは CO₂ の発生を抑制しなければならないとする「地球温暖化防止」とは全く異なる視点からの議論であるが、両者の導くところは一致している。

今後の電力消費に際しては一層の高効率化に務めなければならない。

2. ワイドバンドギャップ半導体

経済産業省はこのほど「技術戦略 2007」を明らかにし、その中では「次世代省エネデバイス技術」を重点化項目として位置づけている。ここで対象として考えているのは、炭化珪素 SiC、窒化ガリウム GaN などのワイドバンドギャップ半導体であり、これらをデバイス技術に適用して省エネルギーの実を挙げようとするものである。

これらワイドバンドギャップ半導体は文字通りバンドギャップ幅 (禁制帯幅) の広い半導体の総称であるが、それらは何故省エネデバイスと呼ばれるのか? 簡単に概説してみよう。(表 1) に SiC, GaN と Si の特性比較を示す。

本稿では炭化珪素 SiC を例にとって説明する。(図 1) に Si と SiC とをそれぞれ用いた MOSFET の概念図を示すが、両者の大きな違いはオフ時に電界のかかる n⁻ 耐圧領域 (ドリフト層) の厚さにある。(表 1) に示したように絶縁破壊電界が大きく異なり、同じ電圧仕様であってもそれに反比例して薄く作ることが可能になる。結果としてオン時の抵抗が著しく小さく、例えば耐圧 5 kV の MOSFET の場合は、オン抵抗の比は 300 : 1 にも達する。

また同時に、(図 2) に示すようにダイオードのスイッチング特性にも大きな差がある。Si ダイオードではターンオフ時に蓄積エネルギーが放出されるオーバ

表 1 SiC, GaN と Si の特性比較

	SiC	GaN	Si
禁制帯幅[eV]	3.2	3.39	1.1
絶縁破壊			
電界[MV/cm]	3.5	2.6	0.3
熱伝導率[W/cm/K]	4.9	1.3	1.5
真性半導体			
温度 [K]	1400	2000	600