

## 第 29 回（平成 23 年度）「大阪科学賞」受賞者の横顔

木本 恒暢（きもと つねのぶ）氏（47 歳）

現職：京都大学大学院工学研究科電子工学専攻 教授

略歴： 昭和 61 年

京都大学工学部電気工学第二学科卒業

昭和 63 年

京都大学大学院工学研究科電気工学第二専攻修士課程修了  
昭和 63 年

住友電気工業株式会社入社（伊丹研究所研究員）  
平成 2 年

京都大学工学部 助手（電気工学第二学科）  
平成 8 年

京都大学博士（工学）  
平成 8 年

スウェーデン国リンチョピン(Linköping)大学物理学科  
客員研究員（京都大学大学院助手兼任）

平成 10 年

京都大学大学院工学研究科電子物性工学専攻 助教授  
平成 18 年

京都大学大学院工学研究科電子工学専攻 教授



### 業績：炭化珪素(SiC)パワー半導体に関する先駆的研究

電力の利用において、発電から消費までの間に多段階の電力変換（交流－直流変換など）が行われており、その変換器に多数のパワー半導体デバイスが用いられています。例えば、インバータ家電、ハイブリッド車、太陽電池用変換器、電車、変電所など、あらゆる電気・電子装置にパワーデバイスが搭載されています。しかしながら、電力変換の度に、電力の約 10～15% に相当する膨大なエネルギーが廃熱となっています。これは主に、パワーデバイス（現在は珪素(Si)で作製）におけるジュール熱による電力損失が原因です。したがって、革新的な高性能パワーデバイスを実現し、電力損失を大幅に低減することが待ち望まれていました。

受賞者は既存の半導体にとらわれずに、優れた性質を持つ新しい半導体材料である炭化珪素(SiC)の研究に取り組み、あらゆる学術的基盤を解明、確立し、この材料を革新的な省エネを実現するパワー半導体に育てました。例えば、超高純度・高品質 SiC 結晶の実現、体系的な物理的性質の解明と制御、既存の半導体の理論限界を桁違いに突破する高性能パワーデバイス実現に至る学術研究で多くの先駆的・独創的成果を挙げ、(1)SiC 半導体の材料科学と(2)革新的な省エネルギーを実現するエネルギーエレクトロニクスの発展に大きく寄与しました。

受賞者が提案、確立した SiC 結晶作製法、パワーデバイス構造や作製技術の多くが、現在の世界標準となりました。現在、SiC パワーデバイスの実用化が国内外で急速に進められ、様々な電気機器の高効率化（省エネ化）と小型化に貢献しています。

## 用語集

炭化珪素(SiC) :

珪素(Si)が 50%、炭素(C)が 50%で構成される半導体材料。Si は現在の半導体材料の中心的存在であり、ダイヤモンド(炭素)は世の中で最も硬い材料であることから推測されるように、SiC は非常に硬い(強い)半導体材料である。具体的には、原子間の結合力が極めて強いために、耐熱性、耐薬品性、耐放射線特性に優れる。高い電界においても絶縁破壊しにくい(Si より約 10 倍強い)ので、高い電圧に耐えることが要求されるパワーデバイス用途に最適である。その熱的、化学的安定性のために、高品質結晶の作製やデバイス作製が極めて困難であったが、受賞者らの先導的な研究により、実用に供する半導体となった。

パワー(半導体)デバイス :

電力変換に用いられる電力用半導体デバイス(素子)。トランジスタ、サイリスタなどの 3 端子デバイス(スイッチングデバイス)と整流用ダイオードなどの 2 端子デバイスに分類できる。いずれのデバイスでも、オフ時には高い電圧に耐える(絶縁破壊しない)こと、オン時(通電時)には低い電圧で大電流を流せること、オン状態とオフ状態を高速でスイッチングできることが要求される。通常、扱う電圧の 2~3 倍の電圧に耐えることが要求され、家電製品で 300~600V、産業用機器で 600~2000V、新幹線で 2000~3000V、変電所や電力系統制御では 3000~6000V 以上の耐電圧が必要である。現在はほぼ全て Si 半導体で作製されているが、技術の成熟により飛躍的な性能向上が困難になっている。2010 年における市場は約 2 兆円に達する。

電力変換 :

交流→直流変換、直流→交流変換、電圧変換、周波数変換などの電気信号の変換のこと。身近な例では、AC アダプタは交流(AC 100V)→直流(DC 12V など)変換を行う代表的な部品である。また、太陽電池や燃料電池による発電では直流が得られるので、50Hz/60Hz の交流に変換する必要がある。様々なモータ制御においても、交流の入力信号を一旦、直流に変換し、次にこの直流を最適な交流信号に変換させることでモータに最適な電力を供給する。電力変換を担う電気回路、半導体デバイスを中心とした学問領域をパワーエレクトロニクスと呼ぶ。

インバータ :

直流を所望の交流に変換して負荷に最適な電力を供給する変換器。高機能産業用機器、ハイブリッド車、電車などのモータはインバータ制御である。家電製品や照明機器でもインバータ制御方式が増えている。インバータ化の最大のメリットは、電力利用の高効率化(低損失化)と機器制御の高精度化である。一方、交流から直流への変換器、直流から直流への変換(電圧変換)器は、インバータではなくコンバータと呼ばれる。

ジュール熱 :

抵抗に電流が流れることにより生じる熱のこと。抵抗を R、電流を I、電圧を V とすれば、オームの法則より  $V=RI$  が成立し、この時に発生する電力損失 P は  $P=VI=RI^2$  で表される。この電力損失は熱の形で放出されるので発熱(ジュール熱)となる。加熱を目的とするヒータを作製する場合は、このジュール熱が大きい方が望ましい。一方、パワーデバイスの場合は、このジュール熱(電力損失)を最小限にするために、デバイスの抵抗 R を小さくすることが重要である。