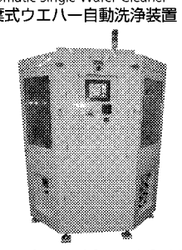
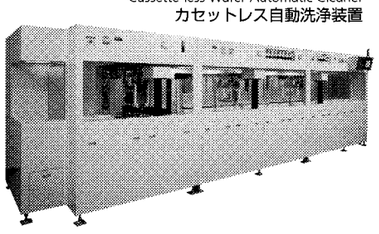
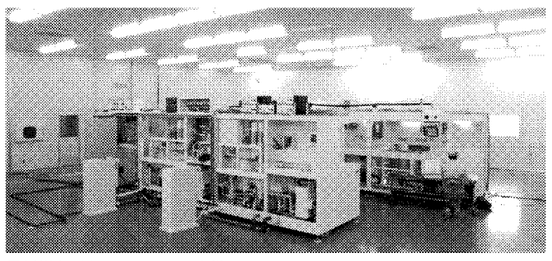
高精度化・省力化・微細化の最先端技術にトコトン対応

Automatic Single Wafer Cleaner
枚葉式ウエハー自動洗浄装置



Cassette-less Wafer Automatic Cleaner
カセットレス自動洗浄装置





最新鋭大型クリーンルーム完備

ジャパンクリエイト株式会社
〒359-1167 埼玉県所沢市林1丁目203番地4
TEL：04-2938-3111　FAX：04-2938-3116
http://www.japancreate.co.jp

半導体、液晶関連各種装置の製造承ります。

社会基盤とパワーエレクトロニクス

産業技術総合研究所
新機能素子研究開発協会
清水　肇

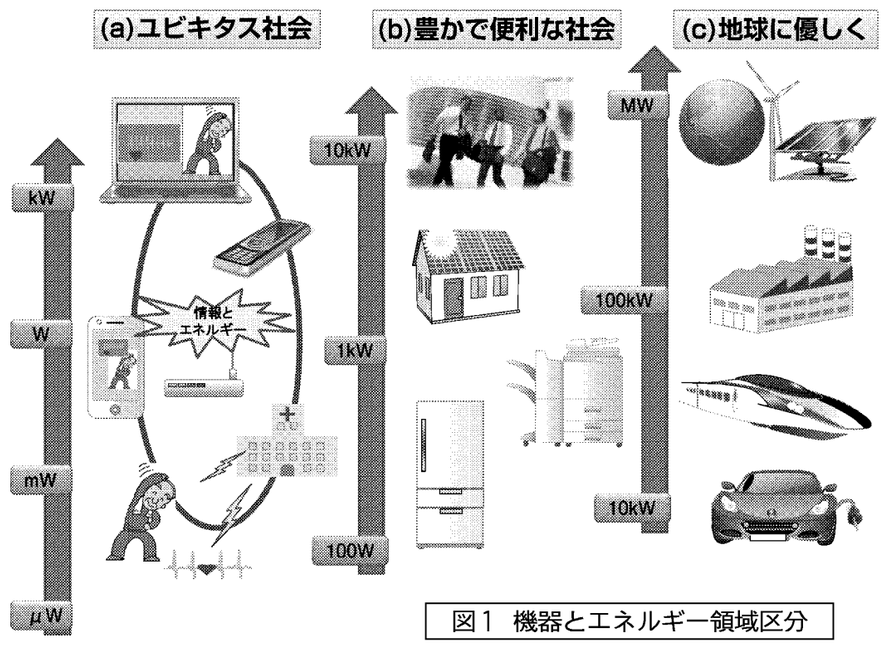


図1　機器とエネルギー領域区分

いつでも、どこでも、誰でもが情報利用可能な環境が形成され、常に進化し続けるユビキタスIT基盤には、高効率で信頼性の高い電力供給システムが不可欠である。資源やエネルギー制約の下、社会の持続的発展や地球環境への配慮には、一次エネルギーを電力で利用し、ITによる社会基盤のスマート化の促進が有効である。そしてそれらを担う基幹技術の一つが、パワーエレクトロニクスである。

エネルギーと情報技術の接点

図1は機器をエネルギー領域でおおよそ三つに区分けした。（**a**）はセンサーのようなマイクロワットの極微少エネルギーも含んだ、バッテリーが主役のユビキタス社会を表した。モバイル機器などの稼働時間持続のため、素子の低電圧動作、高効率電圧変換、無線通信、ワイヤレス給電などが課題である。（**b**）は100ワット―10キロワットの範囲で実現する、豊かで便利な社会の図だ。家電やビジネス機器、照明のほか、最近は夜間電力と蓄熱、太陽電池と電力貯蔵、将来的にはプラグイン電気自動車（EV）やハイブリッド車（HEV）などの社会インフラとの接点も出てくる。家庭と業務分野の機器は省エネ化も進むが、総台数が多く、日本の総電力の5割強を占めている。利便性や高齢化社会などで、今後も電力消費増の傾向が続くだろう。（**c**）は10キロワット以上を扱うインフラを表した。EV／HEV、電鉄、工場、自然エネルギーなどを含む、社会インフラの大規模な電力マネジメントが課題である。

これらの機器には電圧・電流・周波数を制御する、エネルギー効率の高い変換器・パワー半導体が重要である。変換器の代表である直流（DC）／交流（AC）インバーターは、身近な所では冷蔵庫やエアコンのモーターに使用され、高い省エネ運転を実現している。年々性能向上と低コスト化が進み、さまざまな分野へ導入されている。インバーターの課題として指摘されているのが、構成部品の導通損と「0、1動作」によるスイッチング損を伴う点だ。この両損失低減に向けて、素子構造などの工夫が進むが、シリコン（Si）の物性限界に近づいており、省エネ効果も成熟領域に入りつつある。

ワイドバンドギャップ半導体への期待

省エネ効果の成熟に対して、ワイドバンドギャップ（WBG）半導体が注目されている。WBG半導体の代表選手ともいえる炭化ケイ素（SiC）は、Si半導体に比べ、バンドギャップが約3倍、絶縁破壊電界が7倍と優れている。また熱伝導率が約3倍と大きく、導通損失はSiパワー素子の約200分の1になる。パワー半導体は、大電流操作に必要な**図2**（**a**）に示す縦型デバイス構造が主である。

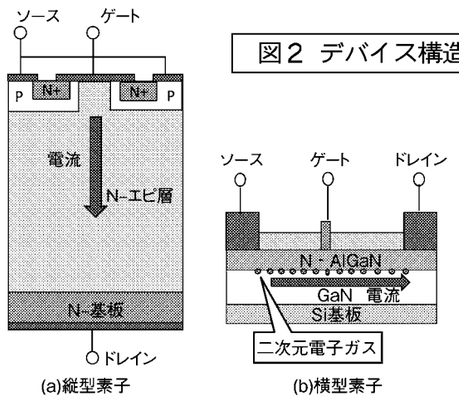


図2　デバイス構造

※P・P型半導体、N・N型半導体

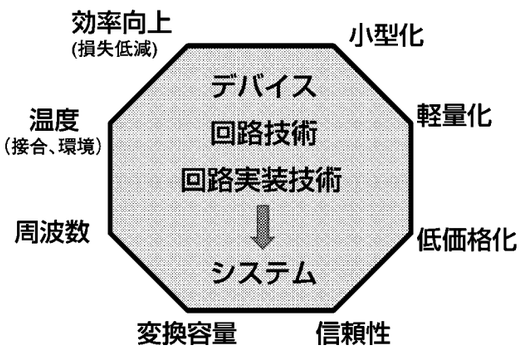


図4　さまざまな付加価値

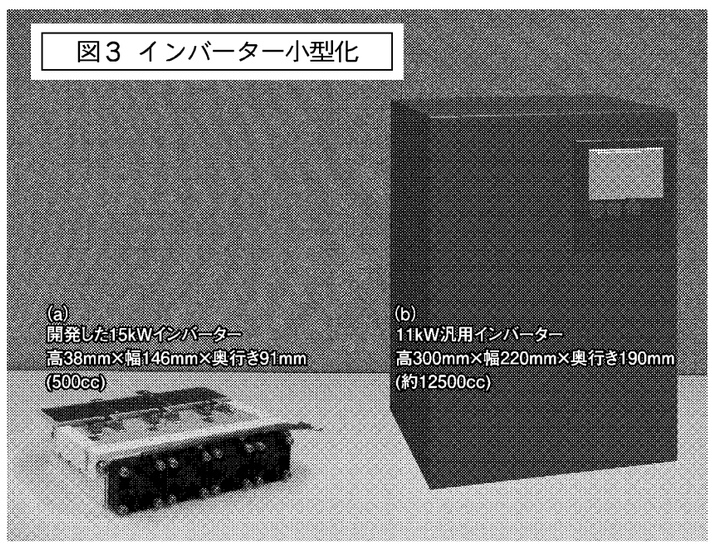


図3　インバーター小型化

WBGパワー半導体産業技術を目指して

しかし、60余年の歴史を持つ盤石なSi半導体技術とその市場に、WBG半導体が短期間で迫ることは容易ではない。技術に限らず課題は多数ある。中でもウエハーと素子の価格である。高品質の6インチSiC基板や各種素子が市場の引き金になることを目指して、現在経産省やNEDOなどのSiC関連プロジェクトが進んでいる。その一方で、窒化ガリウム（GaN）も物性的にSiCと遜色なく、ヘテロエピタキシャル技術を駆使した「GaN on Si」ウエハーが最近市場に出てきた。このウエハーを用いた素子は高性能・低価格を両立できる可能性がある。図2（b）に示す横型素子ヘテロ構造電界効果トランジスタ（HFET）は、すでに携帯電話の基地局向け高周波パワーアンプ用素子の実用化にむけ使用されている。パワー素子としては、低オン抵抗化と、GaNと窒化アルミニウムガリウム（AlGaN）との界面に形成される2次元電子ガスの特性で、高周波動作が実現する。横型素子のため、大電流や耐圧ではSiC縦型素子には及ばないが、低電圧から1キロボルト程度までの用途に期待でき、図1（a）の低圧領域で利点を出せるかどうかの問題と図1（b）領域の機器類に適する素子開発が課題である。相対するSi素子では、スーパージャンクション（SJ）構造と呼ばれ、3次元構造をMOSFETの活性化層に組み込んだ素子が、低損失性と高周波化を両立し、Si限界を超える特性をすでに引き出している。一方、「GaN on Si」HF2ET素子は価格に反映する作製プロセスの簡易性、SiSJ素子を凌駕する特性、図1（b）の機器類の電源用途素子の市場の大きさなどから、実用化に向け動きが活発化している。

次はWBG半導体回路の課題である。Si素子をSiC、GaN素子へ置き換えただけで、その特性を引き出すのは簡単ではなく、高速スイッチング用回路技術が不可欠である。スイッチング損の低減には、電圧および電流を急速にオン・オフできるWBG半導体が適している。しかし、オン、オフする際の大きな電流変化率とパワー回路特有の配線の太さと、部品間の空間距離（絶縁）に伴う浮遊インダクタンスで、サージ電圧発生が支障となる（高速デジタル回路と異なる点である）。そのため、配線の立体構造まで含めて浮遊インダクタンスを極力小さくする回路実装技術の駆使が必要である。また、パワー素子は少なからず寄生キャパシタンス成分を持ち、浮遊インダクタンスとの共振損失になる。

同様に、回路の高電圧化に伴う電圧変化率の大きさは、高周波漏れ電流、高い周波数の伝導ノイズ、放射ノイズの周囲環境への影響の可能性といった電磁妨害（EMI）や、その高調波、フィルターなども未経験領域である。SiC、GaN素子の高速スイッチング特性を生かし切れば、トランス、リアクトル、キャパシターなどの電源部品の小型化で、変換器も含め、効率の高い小型電源の開発につながる。

ユーザー、市場側から

WBG半導体パワーエレクトロニクスの普及には、さらなる研究開発への努力と、その成果を産業技術へ継承し、図1で示した各システム産業界が、市場を視野に入れた研究開発を分担することが大切だ。まずはWBG半導体導入への付加価値、魅力、使いこなしへの情報発信が必要である。

WBG半導体を使う利点は、効率向上に加え、**図4**に示す信頼性のほか、さまざまな付加価値、費用対効果に優れていることである。付加価値はシステムで異なり、場合によっては効率性とトレードオフにもなる。例えば、高エネルギー密度は家電や輸送機器にとって、設置スペースの利点となり、耐高温動作は冷却系の簡素化や小型化になり、輸送システムではスペースと軽量の利点になる。しかし、高温の持続や熱サイクルはモジュールの高い信頼性向上に格段の対策が不可欠である。また、保守の立場から自然空冷への高い要望もある。工場の場合は費用対効果、長期信頼性がプライオリティーで、小型化や冷却系の簡素化はメンテナンス経費の削減の視点から歓迎される。

「WBG半導体ならでは」のシステムの付加価値やユーザーの使い勝手、費用対効果などを目指す上で、WBG半導体社会を超えた回路・部品・システムなど、広域な研究開発を視野に入れた議論、連携、情報交流を産学官で急ぎたい。WBG半導体の市場規模はまだ小さいものの、産業技術として研究開発は加速している。

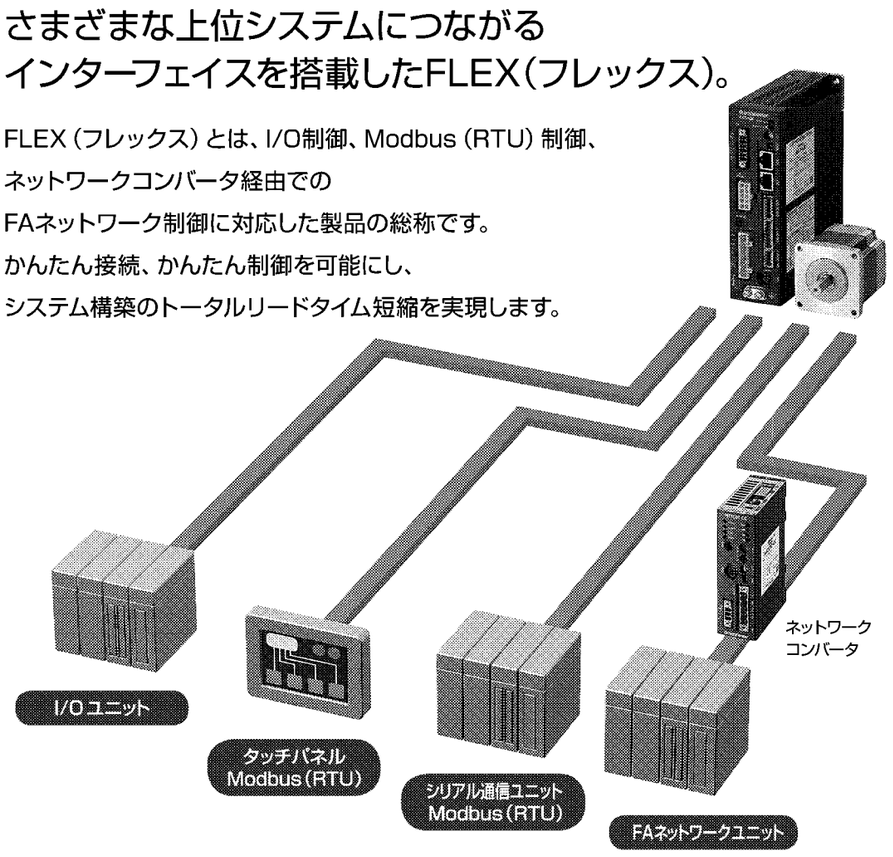
産業技術総合研究所の清水氏は、ハイブリッド回路は、各種機器に導入されはじめ、省エネ旋風の中、SiCダイオード市場を活性化している。以上のようなSiC半導体の低損失特性に加え、高周波化で電源の小型化、軽量化、低価格化などが進み、新たな付加価値創出が市場では期待されている。

筆者が関与している経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「次世代パワーエレクトロニクス（グリーンIT）」プロジェクト（2009―12年度）では、社内生産や市販のSiC半導体を調達し、SiC半導体による、エネルギー効率向上に向けた研究開発を進めている。テーマは①接合型電界トランジスタ（JFET）を用いたサーバー電源②金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ（MOSFET）を用いた太陽光発電システムのパワーコンディショナー③接合高温動作（Tj）と高パワー密度インバーターの開発である。**図3**（**a**）はテーマ③の成果で、接合温度200度Cのインバーターで出力15キロワットモーターの連続運転に成功した。インバーターの体積は500立法センチメートルで、出力パワー密度は30キロワット／リットルになり、（**b**）に示したSi半導体の11キロワットの電源と比べて大幅に小さくできた。SiC半導体の低損失特性を生かし、高温動作化による高密度実装、高周波化によるパッシブ回路の小型化の総合効果である。インバーターの小型化は、空間活用や軽量化の付加価値を生み、各種の産業用モーターへの応用として図1（b）や（c）領域にも期待が集まっている。

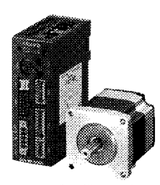
セミコン・ジャパン2011に出展
2011年12月7日（水）～9日（金）
幕張メッセ ブースNo. 展示ホール5 5C-806

さまざまな上位システムにつながる
インターフェイスを搭載したFLEX（フレックス）。

FLEX（フレックス）とは、I/O制御、Modbus（RTU）制御、
ネットワークコンバータ経由での
FAネットワーク制御に対応した製品の総称です。
かんたん接続、かんたん制御を可能にし、
システム構築のトータルリードタイム短縮を実現します。



ステッピングモーターユニット αSTEP
ARシリーズ FLEX
AC電源入力
位置決め機能内蔵タイプ



ステッピングモーターユニット αSTEP
ARシリーズ FLEX
DC電源入力
位置決め機能内蔵タイプ

5相ステッピングモーターユニット
CRKシリーズ FLEX
DC電源入力
位置決め機能内蔵タイプ

オリエンタルモーター株式会社　www.orientalmotor.co.jp