
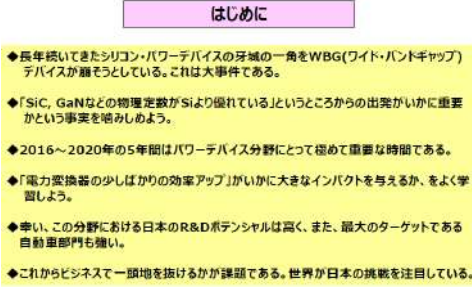
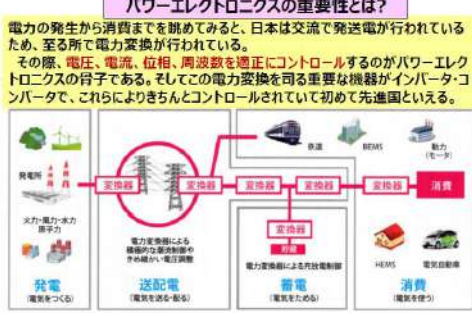
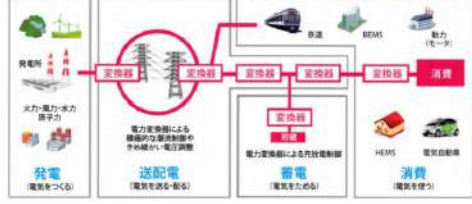
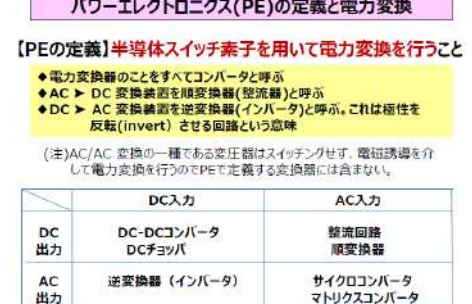
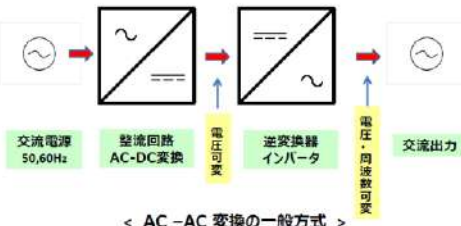
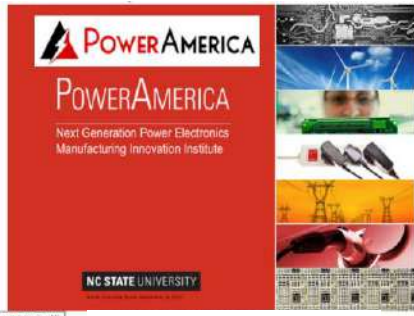



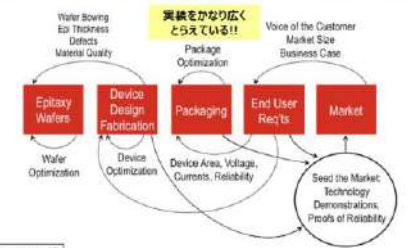
■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

 <p>アドバンスト・コース WBGパワーデバイスによるビジネス展開 宮代 文夫 よこはま高度実装技術コンソーシアム(YJC)</p>										
 <p>目次</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. WBGデバイスにすると何が嬉しいのか? - Siの牙城を崩せるのか? 2. WBGパワーデバイスR&Dに対する各国の取り組みと、主要学会の動向 - 米国、欧州、日本、アジア 3. 主なWBGパワーデバイスの動向とロードマップ - 当面はSiCパワーデバイスの動向をWatchすれば十分 4. WBGパワーデバイスのアプリケーション分野と市場展望 5. WBGパワーデバイス関連主要メーカーとその戦略 6. 「Something New」への挑戦例 										
 <p>はじめに</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆長年続いてきたシリコン・パワーデバイスの牙城の一角をWBG(ワイド・バンドギャップ)デバイスが奪おうとしている。これは大事件である。 ◆「SiC, GaNなどの物理定数がSiより優れている」というところからの出発がいかに重要かという事実を噛みしめよう。 ◆2016~2020年の5年間はパワーデバイス分野にとって極めて重要な時間である。 ◆「電力変換器の少しばかりの効率アップ」がいかに大きなインパクトを与えるか、をよく学習しよう。 ◆幸い、この分野における日本のR&Dポテンシャルは高く、また、最大のターゲットである自動車部門も強い。 ◆これからビジネスで一頭地を抜けるかが課題である。世界が日本の挑戦を注目している。 										
 <p>パワーエレクトロニクスの重要性とは?</p> <p>電力の発生から消費までを眺めてみると、日本は交流で発電電が行われているため、至る所で電力変換が行われている。 その際、電圧、電流、位相、周波数を適正にコントロールするのがパワーエレクトロニクスの骨子である。そしてこの電力変換を司る重要な機器がインバータ・コンバータで、これらによりきちんとコントロールされていて初めて先進国といえる。</p> 										
 <p>パワーエレクトロニクス(PE)の定義と電力変換</p> <p>【PEの定義】半導体スイッチ素子を用いて電力変換を行うこと</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆電力変換器のことをすべてコンバータと呼ぶ ◆AC > DC 変換装置を順変換器(整流器)と呼ぶ ◆DC > AC 変換装置を逆変換器(インバータ)と呼ぶ。これは極性を反転(invert)させる回路という意味 <p>(注)AC/AC 変換の一種である変圧器はスイッチングせず、電磁誘導を介して電力変換を行うのでPEで定義する変換器には含まない。</p> <table border="1" data-bbox="169 1917 600 2040"> <thead> <tr> <th></th> <th>DC入力</th> <th>AC入力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DC 出力</td> <td>DC-DCコンバータ DCチョッパ</td> <td>整流回路 順変換器</td> </tr> <tr> <td>AC 出力</td> <td>逆変換器(インバータ)</td> <td>サイクロコンバータ マトリクスコンバータ</td> </tr> </tbody> </table>		DC入力	AC入力	DC 出力	DC-DCコンバータ DCチョッパ	整流回路 順変換器	AC 出力	逆変換器(インバータ)	サイクロコンバータ マトリクスコンバータ	
	DC入力	AC入力								
DC 出力	DC-DCコンバータ DCチョッパ	整流回路 順変換器								
AC 出力	逆変換器(インバータ)	サイクロコンバータ マトリクスコンバータ								

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>AC-AC変換はいったんDCに変換し、再びACに変換する方式で行う。その方が電圧や周波数を変えやすいからである</p>  <p>< AC-AC 変換の一般方式 ></p>	
<p>1. WBGパワーデバイスにすると何がうれしいか?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 素材(SiC, GaN, Ga₂O₃, Diamond)の物理定数が異なること。これは誰も変えることができない特徴である。 2. 特にその中でも、バンドギャップが広いこと、絶縁耐圧が大きいことの2つがパワーデバイス設計上うれしい。 3. これらでデバイス設計し、さらにインバータ、コンバータを組み、小型で電力変換損失が少ない電力変換器が予測通りにできる。今や電力変換器は世の中の多くの電力場で多数使われており、これが全国で使われると大きな省エネルギーとなるのがうれしい。 4. 基となる材料は特別入手が難しいものではない。結晶成長、ウエハ加工、などは厄介なものもあるが克服できないものではない。 5. いままでのSi半導体技術の延長上にあり、日本が得意とする技術であることもうれしい。 	
<p>なぜSiCなのか?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 単結晶製造(効率的製造方式が定まっていない、各種欠陥に悩まされている)、ウエハ加工(超薄ウエハ加工の難度、直径15cmとまり)、トランジスタ開発(高圧・大電流品の難度)、材料およびプロセスの高コスト、など多々の問題点を抱えているSiCデバイスにもかかわらず、SiCパワーデバイスの実用化が希望されているのは、SiCの物理定数に起因する優れた省エネ特性による。 2. 特にインバータに代表される電力変換器(発電所〜消費者間の電力送送ライン中に数知れず使用される)に適用されると、日本全体で原価8〜9割分の発電量を節約できる、とされている。 3. 実績という観点から見ると、SiCデバイスの動作温度Tjは200〜250℃あたりが効率の良い使い方とされ、従来のSiデバイス(Tjmax=175℃)に用いられてきた実装材料(樹脂、接合、接結材料など)のほとんどを見直さなくてはならないという大問題に直面している。しかしこれは日本に最も期待がかかっている分野の一つであるが、一方実用化のペースにもなっている。 4. 本稿ではWBG材料のうちSiCを主として取り上げ、GaNは比較程度にとどめる。 	
<p>2. R&Dに対する各国の取り組みと 主要学会の動向</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 省エネに顕著な効果のあるテーマであることが明らかになり、かつ資源の偏在に悩まされることもないため各国とも熱心に検討している。 2. しかし、単結晶材料、物性、半導体設計、製造、高温実装材料・技術など、個々にも総合的にも難関が多い総合技術だけに一大学、一企業、一人人では手に負えず、総合力を発揮できる開発チームをどう結びかが鍵となる。 3. 各国が独自のPJを組んでいるが、特に注目すべきは次の3つである。 <ol style="list-style-type: none"> (1) 日本のSIP&TPECそれに名古屋地区のGaNチーム：産学官からなるもので、日本の総合力の見せどころである。ただし、アジアの結束は金銭よくない。 (2) 米国のPower America：オバマ大統領自ら「ホワイトハウス」で行った呼び物いりのPJ。ノースカロライナ州立大学をメインにしたあたりが面白い。 (3) 欧州のECPE：欧州は各国の研究が昔から種が良く、連絡もよい。ドイツがまとめている感が強い。 4. 学会はいろいろなおこころが取り上げている。日本では応用物理学会、世界では広範な取り上げ方をしているのはICSCRMといえよう。 	
	

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>米国の施策</p> <p>オバマ大統領の「ものづくり革命」発表(ホワイトハウス):</p>  <p>◆2014-1/15: オバマ大統領が3DプリンタとWBG半導体応用を戦略アイテムとして選択</p> <p>◆North Carolina州立大に本拠 (CPES) 18社、7大学で構成</p>	
<p>The PowerAmerica Ecosystem</p> <p>設計、WBG製造、システム構築</p> <p>3.75 BILLION \$ (2014年)</p> <p>REDUCE WBGデバイスコスト 2.2% (2015年)</p> <p>研究、教育、投資</p> <p>POWER America のPR</p> <ul style="list-style-type: none"> ●SiCとGaNで、2020年までに3.75Bs(約3750億円)の市場を生み出す。 ●2.2%のエネルギー削減を実現する 	
<p>PowerAmericaの目的: PE産業の最適化</p> <p>Optimizing the Power Electronics Industry</p> 	
<p>POWERAMERICA Reducing Cost of Wide Bandgap Power Devices</p> <p>Low Voltage Devices (600V to 1700V) 3 years</p> <p>Medium Voltage Devices (3300V to 6500V) 5 years</p> <p>High Voltage Devices (> 10kV) 10 years</p> <p>WBGパワーデバイスのコスト削減目標は、10年後にSiの1.5倍に!!!</p> <p>POWERAMERICA TARGET: WBG Costs Reach Parity with Silicon</p> <p>1.5X Cost Parity</p> <p>最終のコスト削減は新技術で</p>	
<p>Power America の会員</p> <p>MEMBER REPORTS</p> <p>Together we are accelerating the next generation of wide bandgap power electronics.</p> <p>特別会員: Lockheed Martin</p> <p>顔となる会員: Wolfspeed, XFAB</p> <p>賛助会員: 14社 (各国)</p> <p>実証時会員: 11社</p> <p>アカデミック会員: 15団体・学校</p> <p>政府賛会員: 3団体</p> <p>後援団体: 3</p> <p>スポンサー: 1</p>	

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>実用を重視したシステム!!</p> <p>Research, Development & Demonstration R&D, デモ</p> <p>Comprehensive Education and Workforce Development Program 人材教育</p> <p>Commercial Product Acceleration 実用加速 社会実装</p> <p>Production & Packaging Foundries 製造実装 量産</p> <p>NC State Univ.(USA) HPより</p>	
<p>欧州の計画: 欧州PEセンター ECPE Workshopの例 (2016 June, Stuttgart)</p> <p>E-mobilityテーマに際して、Vehicle sideからGrid sideから別々に開催、別にECPE WS on Automotive Power Electronicsを開催した。主テーマは次の4つ。48Vシステムを皮切りに、WBGデバイスE-Charging用途などにも。</p> <ul style="list-style-type: none"> Multi-voltage on-board electrical system incl. 48V net Mechatronic system integration of the drivetrain Battery charging and grid interaction On-board voltage level jump/grade <p>ECPE Workshop Power Electronics for e-Mobility</p> <p>22-23 June 2016 Stuttgart, Stuttgart Convention Center</p> <p>BOSCH Continental VW</p>	
<p>YNU 横浜国立大学 ECPEの技術マイルストーン</p> <p>Technology Milestones</p> <p>デバイス注力</p> <p>PowerMOSFET/IGBTs Circuit Topologies Modulation Concepts Control Concepts</p> <p>システム注力</p> <p>after Switches and Topologies: Magnetics, 3D Packaging & System Integration and EMI are the main focus of the next decade</p> <p>Wide Bandgap Devices Ultra-Fast Switching High Power Density/Torque</p> <p>Super Junction Technol. Digital Power Modeling & Simulation</p> <p>Paradigm Shifts from Carburides, to Systems. - from Inverter Function to Interaction Analysis - from Power to Energy</p> <p>パラダイムシフトが大切!!</p> <p>Systems + Costs</p> <p>2015 2025</p> <p>ETN</p> <p>ECPE</p>	
<p>YNU 横浜国立大学 ECPEの加入 企業メンバー</p> <p>ECPE Member Companies</p> <p>BOSCH SIEMENS Continental VW MITSUBISHI Infineon HOKUSAI DENSO PHILIPS VAC FODERES EPCOS SET SEW DELTA LEM InPower AEGIST ALSTOM AEBUS VARCON AEGIST MITSUBISHI Elexatron Vitec WITSLA DENSO Phofer Alphenix Omron CADFER Panasonic piepim PHILIPS LASHI HITACHI HITACHI Energy Tech CRYNEX DAIMLER TOSHIBA</p> <p>日本からも数社 加入している</p> <p>ECPE-01, 02, 03</p>	
<p>ECPE PresidentのLorenz氏のSiCデバイス応用への辛口の見解</p> <p>「例えばSiCについては、SiCを早くから採用してきた太陽光発電システムは、中国メーカーの地盤によって価格競争のプレッシャーにさらされた結果、シリコンが主流のまま。電気自動車(EV)も、SiCのアプリケーションとして挙げられるが、今後数年のうちに普及拡大が加速するよう具体的な計画や戦略は伺えない」</p> <p>ECPEに参加できる企業は基本的には欧州のメーカーだが、日本企業も複数社がメンバーになっている。三菱電機、富士電機、ローム、日立製作所、パナソニック、東芝などだ。「日本企業は優秀でプロジェクトへの貢献度も高い」</p> <p>「ドイツの自動車メーカーは、採用するには、得られる利益がまだ少なすぎると考えている。もちろん、小型化や省電力損失など、SiCを採用することの利点は認めているものの、システム全体で考えたときのコストが採用を阻んでいるようだ」</p> <p>SiCパワー半導体の技術的な課題については、「信頼性が不十分だ。SiCに限らず、ワイドバンドギャップ半導体の信頼性は、特に高温環境下においてまたシリコンには及ばない」</p>	

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>学会の状況</p> <p>日本の学会としては、応用物理学会と電気学会が主流である。海外ではIEEEはそれほど活発でなく、他にもいろいろあるが、ここではConf. on SiC & Related Materialsをとりあげる。</p> <p>ICSCRM, ECSCRM: SiC & Related Materials Conf.</p> <p>SiCに関する学会。ICSCRMは世界、ECSCRMは欧州の意味で、各2年隔つきり毎年とちがが開催されている。日本でも2回(盛岡と高崎)開催された。2019は京都で開催。</p> <p>SiCウエハの製造法、物性、SiCデバイスの物性・開発と応用が中心であるが、ウエハでは欠陥の排除、単結晶の生産法、ウエハサイズの拡大(15cmφがやっと高純化、20cmφの試行スタート)、エビの製造、デバイスではトランジスタの製造法がまだ未だならず、いろいろな提案が行われている。また耐高電圧やIGBT化もなかなか進んでいない。</p> <p>モジュール化の報告もあるが、実装プロセスおよび実装材料についての発表は少ない。</p> <p>この学会への日本人の参加は多く、採択論文も30~40%を占めるほどである。ついでアメリカ、ドイツの順であるが、最近では韓国・中国・台湾の進出が激しい。</p>																					
<p>ICSCRM 2017 各国の論文投稿内訳 (米国・日本・欧州)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>合計</th> <th>単結晶&エビ</th> <th>物性</th> <th>デバイスと実装</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>米国</td> <td>46</td> <td>9</td> <td>11</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>日本</td> <td>47</td> <td>15</td> <td>8</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>欧州</td> <td>46</td> <td>8</td> <td>19</td> <td>19</td> </tr> </tbody> </table> <p>Oral分野に限定すると、3大地域の論文数はほぼ同じである。アジアは中国5、韓国1なのでほぼ日本が席巻している。ポスターを入れるとまた様子が変わってくる。次回(2019)の中国の伸びが注目される。</p>		合計	単結晶&エビ	物性	デバイスと実装	米国	46	9	11	26	日本	47	15	8	24	欧州	46	8	19	19	
	合計	単結晶&エビ	物性	デバイスと実装																	
米国	46	9	11	26																	
日本	47	15	8	24																	
欧州	46	8	19	19																	
<p>ICSCRM 2017 よりのTopics</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 中国のSiC開発体制 2. EUのSiC-PJ "SPEED"について 3. POWER AMERICAの状況 4. 米国のもう一つのPJ:NY-PEMCについて 5. 日本のSiC開発PJのロードマップ 6. 実装上重要なPaper <p><small>宮代講師からAbstractによる</small></p>																					
<p>1. 中国のSiC開発体制</p> <p>中国では2016年からすべてのSiC研究テーマはNational Key Res. & Dev. Programに集約される。このPlatformはSiCウエハ、エビ、パワーデバイス、モジュール、システムまで含まれる。</p> <p>1つのPJでは1200V SiC MOSFETと1200V/200A SiCモジュールが開発され、これは中国国内1000か所以上のEV充電地点で使用される。</p> <p>また、別のPJでは高電圧SiC MOSFETを開発し、そのモジュールは35kV/5MW 固体変圧器(SST)に使われる。6"のSiC結晶とエビもPJで開発される。</p> <p><small>宮代講師からAbstractによる</small></p>																					
<p>2. EUのSiC-PJ "SPEED"について</p> <ol style="list-style-type: none"> 2.1: 送電用高電圧(HV用)SiCデバイス: DiodeとMOSFETの開発。3.3, 6.5, 10kV 用 JBS diode, MOSFETを開発中。最終的にはSiC bipolarの開発を目指す。 2.2: SST(Solid State Transformer)用としては1.7kV, 3.3kV 用SiC MOSFETを開発中。 2.3: 既存: 将来のWind power converter用として、とりえず Si-IGBT+SiC-diode のhybrid形に対応する。これをフル-SiC化することでスイッチング周波数を2倍にすることで小型化できる。 <p><small>宮代講師からAbstractによる</small></p>																					

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<div data-bbox="148 219 231 331"> </div> <div data-bbox="308 221 555 248"> <h3>3. POWER AMERICAの状況</h3> </div> <div data-bbox="248 288 596 331"> <p>Power Americaでは、世界最初のOpen Foundryの開設を計画している。これはTexas-based X-Fabを基本としている。</p> </div> <div data-bbox="256 338 606 392"> <p>これはファブレスの半導体会社に対し、経済的なSiC試作の場を構築する意図は大い。しかもこのファブレスの技術指導をCREE-Wolfspeedが担当するというのも魅力である。</p> </div> <div data-bbox="256 400 593 454"> <p>基本は直径150mm SiCウエハを用いて、3.3 ~ 15kVのDiode, MOSFET, Thyristor とIGBT まで扱うとのことである。</p> </div> <div data-bbox="501 504 617 521"> <p>宮代講師からのAbstractによる</p> </div>	
<div data-bbox="165 589 585 649"> <p>XFAB は6"のウエハを用いた最初のSiCファウンドリである。月3万枚のSiを扱うTexasのLubbockファウンドリの中にある。Power America のファミリーである。</p> </div> <div data-bbox="165 654 606 707"> <p>SiC Foundry at the Scale of Silicon First 6-inch SiC foundry offering</p> </div> <div data-bbox="165 725 606 781"> <p>X-FAB has established a 6-inch Silicon Carbide foundry line fully integrated within our 30,000 wafer/month silicon wafer fab located in Lubbock, Texas. With the support of the PowerAmerica Institute, X-FAB's goal is to accelerate the commercialization of SiC power devices by leveraging the economies of scale, automotive quality system and equipment set that have been established in its silicon wafer fabrication line.</p> </div> <div data-bbox="165 786 606 913"> <p>SiC Process Capabilities</p> <ul style="list-style-type: none"> High Temperature Implant High Temperature Implant Anneal SiC Wafer Thinning Backside Metal Deposition (Ti/Ni/Ag) Backside Laser Anneal Ni Deposition and Etch </div> <div data-bbox="466 786 606 913"> </div>	
<div data-bbox="165 965 585 1187"> <p>CMOS Tools Converted to Support SiC Processing</p> <ul style="list-style-type: none"> Photolithography <ul style="list-style-type: none"> Canon I3 Steppers (CD: 0.5um, Align: ±0.2um) TEL Mask V Coat/Develop Tracts Deposition <ul style="list-style-type: none"> Novellus Concept 1 PECVD (Diodes, BPSG-ILD, Nitrides) AMAT Inducta PVD (Ti, AlCu, TiW, Ni) Therma LPCVD Furnace (PolySi) Etch <ul style="list-style-type: none"> Dry Etch: LAM TCR, LAM 45XX Wet Etch: FSI-Mercury Implant <ul style="list-style-type: none"> Species supported: P, B, N2 Varian E500 Mid-Current Implanter Ascleis CSD High-Current Implanter Ascleis VME (Very High Energy) Implanter Thermal Processing <ul style="list-style-type: none"> Mattson 2500 炉 Therma Horizontal Furnaces </div> <div data-bbox="454 965 585 1187"> <p>Benefits</p> <ul style="list-style-type: none"> 6-inch SiC processing capabilities Leveraging the economies of scale of an existing 6-inch silicon fab SiC capacity: 5k wafers/months Automotive quality standards (e.g. ISO TS 16949) Strong focus on IP protection Second source solution for OEMs with own SiC manufacturing line </div> <div data-bbox="331 1086 430 1113"> <p>X-FAB 詳細</p> </div> <div data-bbox="165 1198 585 1288"> </div>	
<div data-bbox="148 1344 231 1456"> </div> <div data-bbox="264 1346 585 1373"> <h3>4. 米国のもう一つのPJ:NY-PEMCについて</h3> </div> <div data-bbox="256 1375 585 1471"> <p>New York Power Electronics Manufacturing Consortium (NY-PEMC)は、2014年 GEによって設立された。資金は\$500M。6"のSiC試作ラインを持ち、1.7kVのMOSFETの試作が可能。この試作ラインはSUNY Poly CNSE(Polytechnic College of Nanoscale Science & Engineering) 構内に設置された(下図)。</p> </div> <div data-bbox="264 1469 544 1655"> </div> <div data-bbox="480 1655 592 1673"> <p>宮代講師からのAbstractによる</p> </div>	
<div data-bbox="292 1722 528 1749"> <h3>5. 日本のSiC開発PJのロードマップ</h3> </div> <div data-bbox="189 1751 592 2007"> <p>電力機器用高圧用SiCパワーデバイス開発プロジェクト推進委員会 推進委員会 2015-10-1</p> <p>2015年度～2017年度 電力機器用高圧用SiCパワーデバイス開発プロジェクト推進委員会 推進委員会 2015-10-1</p> <p>図表2-2 次世代パワーエレクトロニクス研究開発体制</p> </div> <div data-bbox="165 2016 239 2042"> <p>再度確認終了</p> </div>	

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<div data-bbox="151 212 231 324"> </div> <div data-bbox="239 212 622 459"> <h3>6. 実装上重要なPaper</h3> <p>A. 米国・オークリッジ国立研: フラグインEV用SiCインバータ用空冷ヒートシンク(3Dプリンタによる)の試作 ▶W.E.D1.2</p> <p>B. 米国・Wolfspeed社: モジュールとシステムの効率を最大にするための秘策 ▶W.E.D1.3</p> <p>C. 米国・Wolfspeed社: 伝熱材を用いた冷却システムによるSiCパワーモジュールの熱伝導特性改善 ▶W.E.D1.5</p> </div>	
<div data-bbox="167 616 207 649"> <p>A</p> </div> <div data-bbox="223 582 606 873"> <p>30-kW All-SiC Inverter with 3D-Printed Air-Cooled Heatinks for Plug-in and Full Electric Vehicle Applications</p> <p>M. Chinthavali¹, Z. Wang¹ ¹Power Electronics and Electric Machinery Group, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, USA E-mail: chintavalm@ornl.gov</p> <p>(a) Module layout (b) Fabricated module</p> </div> <div data-bbox="215 884 614 918"> <p>ヒートシンク材はAlSi10Mgの微粉末で、よく硬むれる材料。熱特性も、強度も硬さも重量も問題はない。これを3Dプリンタで作製した。</p> </div>	
<div data-bbox="167 996 207 1030"> <p>B</p> </div> <div data-bbox="223 974 606 1176"> <p>Module and System Considerations to Maximize Performance Advantages of SiC Power Devices</p> <p>T. Minkler¹, K. Olgazkan¹, S. Minner¹, D. Monte¹, J. Hayes¹, A. Wisniewski¹, D. Siroos¹ ¹Wolfspeed, A Cree Company, 555 W. Research Blvd., Fayetteville, AR, USA E-mail: ty.minkler@wolfspeed.com</p> </div> <div data-bbox="215 1176 614 1288"> <p>最左側の図はカニカルデザイン、高精密メッシュ、空冷モジュール、機械電子、高圧コンバータモジュール、電磁界モデリング全てを考慮すべきとされている。中にはその結果のモジュール、右は最適化製品</p> <p>上図右側の部品図、左は直インダクタンスのDCバス構造、右は最適化ACバス構造(高インダクタンス負荷への接続も考慮したもの)</p> </div>	
<div data-bbox="167 1366 207 1400"> <p>C</p> </div> <div data-bbox="223 1355 606 1668"> <p>The Development of High Thermal Conductivity SiC Power Modules Through the Implementation of Advanced Cooling Techniques Coupled with High Heat Transfer Materials</p> <p>B. S. Pastorek, B. M. McPherson, A. B. Loebler Wolfspeed, A Cree Company, 555 W. Research Blvd., Fayetteville, AR, U.S. E-mail: brandon.pastorek@wolfspeed.com</p> <p>左図: SiCモジュール用接合材と冷却方法の選択図</p> <p>上図: 各部材の選択と、接合熱伝導率への効果</p> </div>	
<div data-bbox="167 1736 231 1769"> </div> <div data-bbox="239 1724 606 2038"> <h3>日本の長期方針</h3> <p>新材料、新プロセス-評価技術、新製造技術(研究開発項目) (新材料、新評価-プロセス-回路技術開発)</p> <p>将来にわたる持続的な産業競争力強化に資する研究開発テーマを決定</p> </div>	

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

SiCは、縦割り社会の日本には珍しい組織!!

5-6. アライアンスを軸とした情報連携(技術交流)

技術分野: 電力半導体, 産業半導体, 電源半導体, 通信半導体

市場環境: 国内市場動向, 海外市場動向

国の動向: 電力, 交通, 産業, 通信, 環境

SiCアライアンス
大学・公的機関の専門家による
パワーエレクトロニクス技術全般の体系的整理
SiCの新しい技術(最新技術)
受動部品技術(トランス, リアクトル, コンデンサ)
.....

異業種交流や企業間連携(特に中小企業)の促進

12

10/26/2015

標準化で後れをとってはならない!!!

経産省の国際標準化テーマに採択された

国際標準化(27年度)新規テーマ (1門=1系子集)

標準化テーマ	所属	標準化団体	TC
① SiC/IGBTの性能向上に関する国際標準化	電産	IEEE, JEDEC, JEITA, JEPC, JEPC-2, JEPC-3, JEPC-4, JEPC-5, JEPC-6, JEPC-7, JEPC-8, JEPC-9, JEPC-10, JEPC-11, JEPC-12, JEPC-13, JEPC-14, JEPC-15, JEPC-16, JEPC-17, JEPC-18, JEPC-19, JEPC-20, JEPC-21, JEPC-22, JEPC-23, JEPC-24, JEPC-25, JEPC-26, JEPC-27, JEPC-28, JEPC-29, JEPC-30, JEPC-31, JEPC-32, JEPC-33, JEPC-34, JEPC-35, JEPC-36, JEPC-37, JEPC-38, JEPC-39, JEPC-40, JEPC-41, JEPC-42, JEPC-43, JEPC-44, JEPC-45, JEPC-46, JEPC-47, JEPC-48, JEPC-49, JEPC-50, JEPC-51, JEPC-52, JEPC-53, JEPC-54, JEPC-55, JEPC-56, JEPC-57, JEPC-58, JEPC-59, JEPC-60, JEPC-61, JEPC-62, JEPC-63, JEPC-64, JEPC-65, JEPC-66, JEPC-67, JEPC-68, JEPC-69, JEPC-70, JEPC-71, JEPC-72, JEPC-73, JEPC-74, JEPC-75, JEPC-76, JEPC-77, JEPC-78, JEPC-79, JEPC-80, JEPC-81, JEPC-82, JEPC-83, JEPC-84, JEPC-85, JEPC-86, JEPC-87, JEPC-88, JEPC-89, JEPC-90, JEPC-91, JEPC-92, JEPC-93, JEPC-94, JEPC-95, JEPC-96, JEPC-97, JEPC-98, JEPC-99, JEPC-100	IEEE, JEDEC, JEITA, JEPC, JEPC-2, JEPC-3, JEPC-4, JEPC-5, JEPC-6, JEPC-7, JEPC-8, JEPC-9, JEPC-10, JEPC-11, JEPC-12, JEPC-13, JEPC-14, JEPC-15, JEPC-16, JEPC-17, JEPC-18, JEPC-19, JEPC-20, JEPC-21, JEPC-22, JEPC-23, JEPC-24, JEPC-25, JEPC-26, JEPC-27, JEPC-28, JEPC-29, JEPC-30, JEPC-31, JEPC-32, JEPC-33, JEPC-34, JEPC-35, JEPC-36, JEPC-37, JEPC-38, JEPC-39, JEPC-40, JEPC-41, JEPC-42, JEPC-43, JEPC-44, JEPC-45, JEPC-46, JEPC-47, JEPC-48, JEPC-49, JEPC-50, JEPC-51, JEPC-52, JEPC-53, JEPC-54, JEPC-55, JEPC-56, JEPC-57, JEPC-58, JEPC-59, JEPC-60, JEPC-61, JEPC-62, JEPC-63, JEPC-64, JEPC-65, JEPC-66, JEPC-67, JEPC-68, JEPC-69, JEPC-70, JEPC-71, JEPC-72, JEPC-73, JEPC-74, JEPC-75, JEPC-76, JEPC-77, JEPC-78, JEPC-79, JEPC-80, JEPC-81, JEPC-82, JEPC-83, JEPC-84, JEPC-85, JEPC-86, JEPC-87, JEPC-88, JEPC-89, JEPC-90, JEPC-91, JEPC-92, JEPC-93, JEPC-94, JEPC-95, JEPC-96, JEPC-97, JEPC-98, JEPC-99, JEPC-100
② SiC/IGBTの信頼性向上に関する国際標準化	電産	IEEE, JEDEC, JEITA, JEPC, JEPC-2, JEPC-3, JEPC-4, JEPC-5, JEPC-6, JEPC-7, JEPC-8, JEPC-9, JEPC-10, JEPC-11, JEPC-12, JEPC-13, JEPC-14, JEPC-15, JEPC-16, JEPC-17, JEPC-18, JEPC-19, JEPC-20, JEPC-21, JEPC-22, JEPC-23, JEPC-24, JEPC-25, JEPC-26, JEPC-27, JEPC-28, JEPC-29, JEPC-30, JEPC-31, JEPC-32, JEPC-33, JEPC-34, JEPC-35, JEPC-36, JEPC-37, JEPC-38, JEPC-39, JEPC-40, JEPC-41, JEPC-42, JEPC-43, JEPC-44, JEPC-45, JEPC-46, JEPC-47, JEPC-48, JEPC-49, JEPC-50, JEPC-51, JEPC-52, JEPC-53, JEPC-54, JEPC-55, JEPC-56, JEPC-57, JEPC-58, JEPC-59, JEPC-60, JEPC-61, JEPC-62, JEPC-63, JEPC-64, JEPC-65, JEPC-66, JEPC-67, JEPC-68, JEPC-69, JEPC-70, JEPC-71, JEPC-72, JEPC-73, JEPC-74, JEPC-75, JEPC-76, JEPC-77, JEPC-78, JEPC-79, JEPC-80, JEPC-81, JEPC-82, JEPC-83, JEPC-84, JEPC-85, JEPC-86, JEPC-87, JEPC-88, JEPC-89, JEPC-90, JEPC-91, JEPC-92, JEPC-93, JEPC-94, JEPC-95, JEPC-96, JEPC-97, JEPC-98, JEPC-99, JEPC-100	IEEE, JEDEC, JEITA, JEPC, JEPC-2, JEPC-3, JEPC-4, JEPC-5, JEPC-6, JEPC-7, JEPC-8, JEPC-9, JEPC-10, JEPC-11, JEPC-12, JEPC-13, JEPC-14, JEPC-15, JEPC-16, JEPC-17, JEPC-18, JEPC-19, JEPC-20, JEPC-21, JEPC-22, JEPC-23, JEPC-24, JEPC-25, JEPC-26, JEPC-27, JEPC-28, JEPC-29, JEPC-30, JEPC-31, JEPC-32, JEPC-33, JEPC-34, JEPC-35, JEPC-36, JEPC-37, JEPC-38, JEPC-39, JEPC-40, JEPC-41, JEPC-42, JEPC-43, JEPC-44, JEPC-45, JEPC-46, JEPC-47, JEPC-48, JEPC-49, JEPC-50, JEPC-51, JEPC-52, JEPC-53, JEPC-54, JEPC-55, JEPC-56, JEPC-57, JEPC-58, JEPC-59, JEPC-60, JEPC-61, JEPC-62, JEPC-63, JEPC-64, JEPC-65, JEPC-66, JEPC-67, JEPC-68, JEPC-69, JEPC-70, JEPC-71, JEPC-72, JEPC-73, JEPC-74, JEPC-75, JEPC-76, JEPC-77, JEPC-78, JEPC-79, JEPC-80, JEPC-81, JEPC-82, JEPC-83, JEPC-84, JEPC-85, JEPC-86, JEPC-87, JEPC-88, JEPC-89, JEPC-90, JEPC-91, JEPC-92, JEPC-93, JEPC-94, JEPC-95, JEPC-96, JEPC-97, JEPC-98, JEPC-99, JEPC-100
③ SiC/IGBTの製造プロセスに関する国際標準化	電産	IEEE, JEDEC, JEITA, JEPC, JEPC-2, JEPC-3, JEPC-4, JEPC-5, JEPC-6, JEPC-7, JEPC-8, JEPC-9, JEPC-10, JEPC-11, JEPC-12, JEPC-13, JEPC-14, JEPC-15, JEPC-16, JEPC-17, JEPC-18, JEPC-19, JEPC-20, JEPC-21, JEPC-22, JEPC-23, JEPC-24, JEPC-25, JEPC-26, JEPC-27, JEPC-28, JEPC-29, JEPC-30, JEPC-31, JEPC-32, JEPC-33, JEPC-34, JEPC-35, JEPC-36, JEPC-37, JEPC-38, JEPC-39, JEPC-40, JEPC-41, JEPC-42, JEPC-43, JEPC-44, JEPC-45, JEPC-46, JEPC-47, JEPC-48, JEPC-49, JEPC-50, JEPC-51, JEPC-52, JEPC-53, JEPC-54, JEPC-55, JEPC-56, JEPC-57, JEPC-58, JEPC-59, JEPC-60, JEPC-61, JEPC-62, JEPC-63, JEPC-64, JEPC-65, JEPC-66, JEPC-67, JEPC-68, JEPC-69, JEPC-70, JEPC-71, JEPC-72, JEPC-73, JEPC-74, JEPC-75, JEPC-76, JEPC-77, JEPC-78, JEPC-79, JEPC-80, JEPC-81, JEPC-82, JEPC-83, JEPC-84, JEPC-85, JEPC-86, JEPC-87, JEPC-88, JEPC-89, JEPC-90, JEPC-91, JEPC-92, JEPC-93, JEPC-94, JEPC-95, JEPC-96, JEPC-97, JEPC-98, JEPC-99, JEPC-100	IEEE, JEDEC, JEITA, JEPC, JEPC-2, JEPC-3, JEPC-4, JEPC-5, JEPC-6, JEPC-7, JEPC-8, JEPC-9, JEPC-10, JEPC-11, JEPC-12, JEPC-13, JEPC-14, JEPC-15, JEPC-16, JEPC-17, JEPC-18, JEPC-19, JEPC-20, JEPC-21, JEPC-22, JEPC-23, JEPC-24, JEPC-25, JEPC-26, JEPC-27, JEPC-28, JEPC-29, JEPC-30, JEPC-31, JEPC-32, JEPC-33, JEPC-34, JEPC-35, JEPC-36, JEPC-37, JEPC-38, JEPC-39, JEPC-40, JEPC-41, JEPC-42, JEPC-43, JEPC-44, JEPC-45, JEPC-46, JEPC-47, JEPC-48, JEPC-49, JEPC-50, JEPC-51, JEPC-52, JEPC-53, JEPC-54, JEPC-55, JEPC-56, JEPC-57, JEPC-58, JEPC-59, JEPC-60, JEPC-61, JEPC-62, JEPC-63, JEPC-64, JEPC-65, JEPC-66, JEPC-67, JEPC-68, JEPC-69, JEPC-70, JEPC-71, JEPC-72, JEPC-73, JEPC-74, JEPC-75, JEPC-76, JEPC-77, JEPC-78, JEPC-79, JEPC-80, JEPC-81, JEPC-82, JEPC-83, JEPC-84, JEPC-85, JEPC-86, JEPC-87, JEPC-88, JEPC-89, JEPC-90, JEPC-91, JEPC-92, JEPC-93, JEPC-94, JEPC-95, JEPC-96, JEPC-97, JEPC-98, JEPC-99, JEPC-100

10/26/2015

3. パワーデバイスの動向とロードマップ

ロードマップ(RM)についての考え方は3つある

1. デバイスのメカ別市場投入RM: Diode - 2001年から市場投入がスタートし、InfineonとCREEの市場投入競争が約10年続いた。2010年以降は実用化が始まり、10倍に突くメカが量産投入中。Transistor: Diodeに遅れること約10年。現在はMOSFETの量産投入が盛ん。
2. デバイス搭載機種投入RM: 市場投入の順序が行く。①太陽光発電(2013)、②鉄道応用(2014)、③UPS(2015)、④産業用モータ(2016)、⑤電力発電(2016)、⑥EV/HEV(2018?)となる。⑥時代がいつ到来か目下最大の関心事。
3. 電力積への投入RM: これが唯一ロードマップらしい方式となっている。電圧別、デバイス別(SiC, GaN, Diamond)を高め2025年までの範囲が示されている。

世界のSiC Diode開発競争の推移

◆初期は圧倒的にCREE
◆Infineonは着実に火花を
◆2010年代はRohmも

◆2012年以降はどつどつ参入。価格も下がり、Si-IGBTとのコンビで市場に出回ってきた

10/26/2015

2015/Q2現在のパワーデバイス開発 - 量産試作 - 量産 状況

POWER ELECTRONICS SiC DEVICE MANUFACTURING
Status of SiC device makers as of Q2 2015

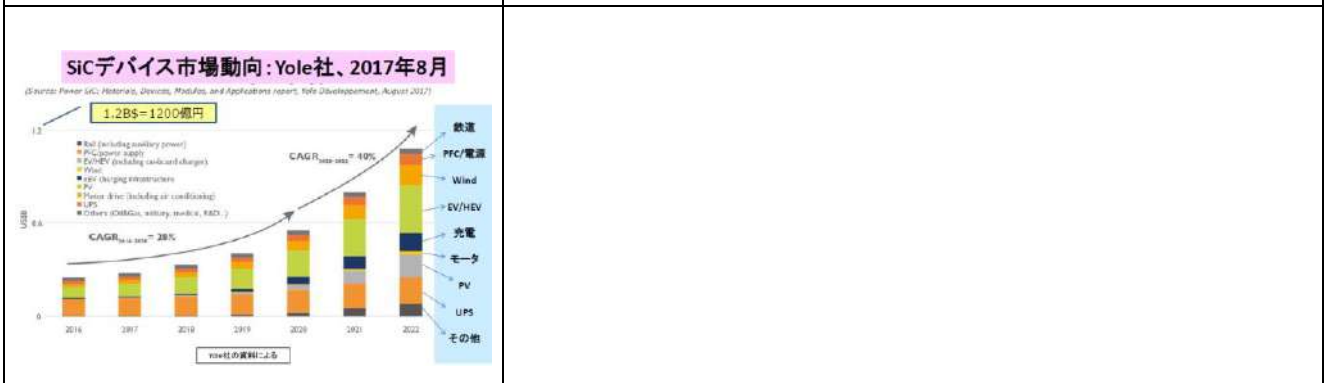
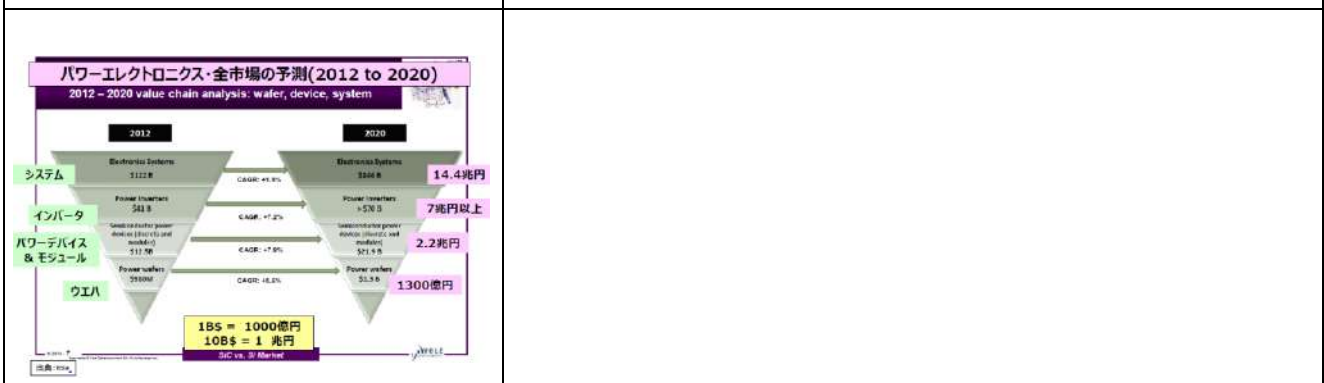
10/26/2015

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師



4. アプリケーション分野と市場展望

1. コンピュータ用パワー半導体一式は「汎用デバイス」ではなく、「システム・キーデバイス」である。
2. この種のキーデバイスの使われ方はコスト第一ではない。いかにシステムの総合性能に寄与できるかで価値が決まり、採否のキーとなる。
3. もう一つはそのシステムがロット生産が汎用品である。ロット生産品であれば期間限定、かつ生産数限定であるから使いやすい（鉄道車両は好例）が、大衆向け乗用車に採用するとその期間は長く、数量も半端でない。コストが合わなければ絶対に採用されない。いったん不具合が発生しようものなら、膨大なリコールという羽目になる。
4. さて、市場展望であるが、ここで取り上げたように、パワーデバイスの性能、価格、量産歩留りにもよるが、何に採用されるか予測で大きく左右される。したがって「決定版」はないと思う方がよい。



■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>IEEE・PELS誌、2018/3月号 よりのWBGデバイス市場予測 Ashok Birbra: Wide-Bandgap Power Devices, IEEE Power Electronics Magazine, Mar, 2018</p> <p>約700億円</p> <p>Revenue (US\$ million)</p> <p>Year</p> <p>Fig. 1 A market study by research firm IHS Markit Technology shows that GaN device sales revenues will reach US\$200 million by 2022. (Source: courtesy of IHS Markit Technology)</p>																					
<p>Power America 発表のSiCパワーデバイスの市場 -2018 Annual Reportより-</p> <p>2027年(8年後)まで見通した市場予測である。これを見ると、SiCは「EV搭載」に力がかかっていることがわかる。2017年では凡そ4/5を占めることがわかる。「2020年頃から本格的な振興が始まる」との予測がされている。2025年以降、急速に普及が始まるとの図式である。</p> <p>それ以降の「他の用途」は電源用途が伸びるものの、UPS、産業モータ用、PVインバータ用などはそれほどの伸びは期待していない、との予測に基づいている。</p> <p>Revenue (M)</p> <p>Year</p>																					
<p>Power America 発表のGaNパワーデバイスの市場 -2018 Annual Reportより-</p> <p>前ページのSiCに比べて、全体額は1/5ほどであるが、SiCに比べ、軍用用途ももちろんあるが、電源用、HEV給電用、車・宇宙用、など多彩な用途が期待されており、EV一辺倒ではない点はリスクが少ないと言える。</p> <p>Revenue (M)</p> <p>Year</p>																					
<p>富士経済の「パワー半導体」の世界市場予測(2017) -GaNを含み、酸化ガリウムに言及している-</p> <p><現金結果の概要></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>パワー半導体の世界市場</th> <th>2016年</th> <th>2025年予測</th> <th>2016年比</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Siパワー半導体</td> <td>2兆4,020億円</td> <td>2兆9,239億円</td> <td>121.7%</td> </tr> <tr> <td>次世代(SiC/GaN)</td> <td>219億円</td> <td>1,860億円</td> <td>850倍</td> </tr> <tr> <td>次世代(酸化ガリウム系)</td> <td>僅少</td> <td>700億円</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>2兆4,239億円</td> <td>3兆1,799億円</td> <td>131.2%</td> </tr> </tbody> </table> <p>2016年の市場は、自動車・電機分野向けの需要が好景で2兆4,239億円となった。2017年以降も市場規模は拡大するとみられる。</p> <p>Siパワー半導体は、成長分野である自動車用途で需要が増加し、市場は緩やかな成長を続けていくとみられる。今後、半導体企業によるディスクリート市場からモジュール事業にシフトする動きもみられる。</p> <p>次世代パワー半導体のSiC/GaN市場は、2017年以降に6インチウェハーの積極採用が過半数製品供給が活発化することにより、市場拡大が予想される。また、GaNパワー半導体は、中堅半導体市場が伸び出す2020年頃から本格的な市場拡大が期待される。</p> <p>次世代パワー半導体は、酸化ガリウム系パワー半導体の地位が2018年頃から開始され、市場が拡大しはじめるとみられる。ゲイムヘッド系パワー半導体は、MOSFETで「ノーマリー・オン」を実現できたことで実用化への期待が高まっているが、市場の立ち上がりは2025年以降になるとみられる。</p>	パワー半導体の世界市場	2016年	2025年予測	2016年比	Siパワー半導体	2兆4,020億円	2兆9,239億円	121.7%	次世代(SiC/GaN)	219億円	1,860億円	850倍	次世代(酸化ガリウム系)	僅少	700億円	-	合計	2兆4,239億円	3兆1,799億円	131.2%	
パワー半導体の世界市場	2016年	2025年予測	2016年比																		
Siパワー半導体	2兆4,020億円	2兆9,239億円	121.7%																		
次世代(SiC/GaN)	219億円	1,860億円	850倍																		
次世代(酸化ガリウム系)	僅少	700億円	-																		
合計	2兆4,239億円	3兆1,799億円	131.2%																		
<p>省エネ分野で日本は絶好の事業環境、SiCは絶対に取りこぼしてはいけない -野村證券・和田木茂樹 氏(東京エレクトロニクス)・日経X-TECH誌-</p> <p>SiCパワーデバイスは、日本の半導体メーカーが高い競争力を維持している数少ない分野である。三菱電機、富士電機、ローム、サンケン電機など、SiCパワーデバイスに注力する半導体メーカーも複数存在する。しかも現在のSiCパワーデバイスの事業環境は、日本の半導体業界の特徴に合っているようにも思える。</p> <p>一つに、性能や生産性を上げるには材料からデバイス構造、プロセスまでに至る技術のすり合わせが求められること。</p> <p>二つに、日本企業が強い材料技術が生かせること。</p> <p>三つに、デバイスの潜在能力を引き出すには、Siデバイス向けとは異なる回路技術やシステム技術、周辺電子部品が必要になり、ここでも高度なすり合わせ開発が必要なこと。</p> <p>四つに、日本には世界市場をリードするユーザー企業が数多くいて、日本の産業競争力強化にも大いに貢献できること。</p> <p>五つに、最先端の微細加工技術が不要なので設備投資の金額が少なく済むことである。</p>																					

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

Power 半導体世界市場は「中国とその他」になる!!!

Breakdown of purchased power semiconductor devices (China vs Rest of the World)
(Source: Status of the Power Electronics Industry Report for Development July 2017)

Thyristors	36%	64%
Rectifiers	35%	65%
Power ICS	47%	53%
Power MOS	27%	73%
IGBT Modules	31%	69%
IGBT Discretes	43%	57%
IGBTs	49%	51%

■ China ■ RoW

※ 最新の資料による

最新のデータ!!!

3-1. 鉄道車両でのSiC普及 2014年 鉄道

4月 三菱「フルSiC適用VVVFインバータ装置」を世界で初めて小田急が採用 (2014年4月から100形リニューアル)

7月 JR東日本 山手線の新型車両「E235系」がSiCパワー半導体を採用へ (2015年3月以降試験走行、2015年秋頃から営業運転)

9月 東芝 SiCダイオードを採用した駆動システムを東京メトロ銀座線に納入

※ 最新の資料による

※ 最新の資料による

YNU 横浜国立大学

インバータが搭載された通勤電車1000形

フルSiCインバータを搭載した通勤電車が首都圏を毎日走っている!!!

※ 最新の資料による

トンネルで車体の体積が制限される地下鉄では小型化が最優先

インバータ機器が搭載される車両床下は、自動走行(ATO)や、車内情報伝送などの、車両インテリジェント化および、省エネ用蓄電装置の搭載などのニーズによりスペースの取り合いになっており、機器の小型化が必須。(特に小型車両の多い地下鉄)

※ 最新の資料による

地下鉄向けSiC SBD + IGBT インバータ装置

3. 3. 1.7kV変換器開発

機種	1.7kV SiC SBD + IGBT
出力容量	500kW
電圧	1.7kV
電流	290A
冷却方式	強制空冷

- ・体積60%削減
- ・重量50%削減
- ・電力変換損失30%低減

自動運転機器・車両間情報伝達装置などが入るスペースが生まれた

※ 最新の資料による

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

2020年にいよいよ新幹線N700SにSiC機器が搭載される
 - JR東海 車両部長 上野氏 -

新幹線の消費電力は新しい世代ほど小さくなる。時速220kmで比較した場合、「N700S」の消費電力は初代・新幹線「0系」の半分以下にする予定だ。

航空機に比べて、新幹線のCO₂排出量は少ない。例えば、N700系は、「Boeing777」機に比べて1/12である。

N700S (S4Supreme)

SiC素子採用による効果(N-700系新幹線)

【N700系新幹線システムとの比較】

	N700系	SiC素子採用
重量	約1,400kg	約1,000kg
CO ₂	約1,800kg	約1,000kg
モーター	約400kg	約200kg
駆動システム	約500kg	約400kg

N700系1編成当たり 1.75トン軽量化

SiC素子と流注型冷却方式の採用により小型軽量化も実現

SiCデバイス採用により、変圧器やモーターを含めた駆動システム全体としても1編成当たり約20%、軽量化したという。JR東海では、開発した駆動システムを導入した場合の効果として、軽量化/小型化による設計自由度の向上とともに「低損失な素子を使用するため、より省エネルギーな駆動が実現できる」

Si-IGBTを用いたモジュール設計の効率化は極限まで達している

Adopted structure (N structure)

Module Design

ホンダ、FCV車にSiCモジュールを搭載(世界初)

ホンダは2016年3月10日に発売した新型燃料電池車 (FCV) にSiC (炭化ケイ素) を用いたパワーデバイスを搭載していることを明らかにした。量産車でのSiCパワーデバイスの搭載は「世界初」(ホンダ) としている。

燃料電池スタックの出力電圧を最大500Vまで昇圧する「FC昇圧コンバーター」(FCVCU) の昇圧制御部にトランジスタ、ダイオードともにSiC素子を用いた「フルSiC」のIPM (インテグレートパワーモジュール) を採用した。




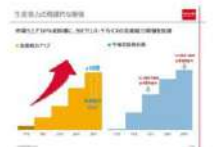

SiCインバーターで左右輪を独立制御、中国ベンチャーの新EV
 - NIOがセクタイプのETシリーズを公開(上海モーターショー2019) -

中国の電気自動車 (EV) ベンチャーである上海蔚来汽車 (NIO) は、2021年を目標にセクタイプのEVを市場投入する。「ET」シリーズと名付けて公開し、航続距離は500km以上を確保するという。新車EVには、SiC (炭化ケイ素) ハリ半導体を使ったインバーターを採用する方針だ。ET Previewは、モーターを前後別に2個、後輪側に1個配置する模様。「上海モーターショー2019 (Auto Shanghai 2019)」(開催期間: 2019年4月16～25日) で、量産セクタの外観を想定したコンセプト車「ET Preview」を発表した。米テスラ (Tesla) のEV「モデル3」を強く意識した外觀デザインに仕上げた。

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>5. 主要メーカーとその戦略</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 前章で説明したように、世界で最も早く市場参入したのはInfineon(独)とCREE(米)である。InfineonはSiemensなどのメーカーシステム・キーデバイスとして手広く各種システムに売り込んでいったとされているので、理解できる。CREE 傘下のWolfspeed 社の買収は米政府の介入で失敗した。 2. CREEはLED関連で大躍進した会社である。「その利益で進捗でやっているのだ」という説もあるが、決してそうではない。同社は政府、国家補助、軍需等に強いパイプを持ち、研究開発関連の試作案件を多く受注している。この段階ではコストはよかましくなく、技術を磨くことができる。 3. 次に現れた日本のローも場所柄(京都)大学・先端メーカーとも関連が深い。やはり本格的には「汎用部品メーカー」であり、SBD、MOSFET標準品の開発を両方しながら続け、近年ドイツの有力SiC基盤メーカーSiCrystal社を買収し、基礎技術課題を解決した。 4. 日本もシステムメーカーが主体でシステム・キーデバイスとして扱っている状況がしばらく続く。MOSFETの価格が下がり、普及率に採用が決まれば各社が一気に参入するだろう。 	
<p>NE達は警鐘を鳴らしている!!</p> <p><SiC普及の流れ></p> <ul style="list-style-type: none"> ●2001年が元年 (InfineonがSBDを) ●2010年には数社が... ●しかしもう2016年だ ●採用事例は鉄道だけではい <p>◆またまた高価で、予想通り普及しているとはいえない?</p>	
<p>パワートリプル柱だ。その何パーセントをとれるかが課題。</p> <p>2015年比で2020年は産業 増産向けに150%増産、自動車向けは100%増産、民生向けは100%増産</p> <p>2015年: パワーデバイス市場: 約2兆6561億円 (再生エネルギー: 2.7%, 電気自動車: 2.1%)</p> <p>2020年: パワーデバイス市場: 約3兆447億円 (電気自動車: 2.2%, 再生エネルギー: 3.9%)</p> <p>市場成長に伴いパワートリプル柱の活用化・標準化が進展</p> <p>輸送機関A 民生機器の参入・台頭 半導体製造の進展</p>	
<p>M&Aで製品ポートフォリオが広がった(2社の例)</p> <p>新生Infineon</p> <ul style="list-style-type: none"> Infineon: 産業用電源や自動車用電子部品分野で用いるSiCパワーデバイスに強み SiC: SiCパワー素子(SBD)やMOSFET、トランジスタ、MOSFET、パワーモジュールに強み Si: SiCパワー素子の開発に注力 Wolfspeed: 2016年に米国で買収された。SiCパワー素子(SBDやMOSFET)やSiCパワーモジュールに強み LS Power Semiconductors: 2016年に米国で買収された。自動車向けSiCパワーモジュールに強み <p>新生ON Semiconductor</p> <ul style="list-style-type: none"> ON Semiconductor: 自動車やスマートフォン分野で用いるSiCパワーデバイスに強み Infineon: 2016年に米国で買収された。SiCパワー素子(SBDやMOSFET)やSiCパワーモジュールに強み LS Power Semiconductors: 2016年に米国で買収された。自動車向けSiCパワーモジュールに強み 	
<p>STがMicronの旧フラッシュ工場に次世代パワー半導体(SiC & GaN)を2021~量産</p> <p>アナログ半導体大手の伊仏合併STMicroelectronicsは、大手メモリーメーカーの米Micron Technologyがフラッシュメモリーを生産していたシンガポール工場、SiC(炭化ケイ素)やGaN(窒化ガリウム)による次世代パワー半導体の量産を2021年にも始める。同社幹部への取材で明らかになった。</p> <p>自動車の電動化などによってパワー半導体市場は拡大を続けており、STは低コスト化と高性能化を両立できる次世代デバイスの量産で需要に応える。同工場は2018年末までに取得を完了。なおMicronは、フラッシュ需要の拡大には、ラインの拡張によらず3次元化で対応する方針であり、工場の増設は必要ではなくなっている。</p>	

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>三菱電機、鉄道・電力向け6.5kV耐圧フルSiCパワー半導体モジュールを開発(2018年1月)</p> <p>【特徴】 ・タイロッドとMOSFETを1チップ化したタイロッド内蔵SiC-MOSFETを開発 ・優れた熱伝導性と耐熱性を両立する絶縁基板と、信頼性の高い結合技術により、高放熱・高耐熱小型パッケージを実現 ・鉄道・電力向けパワーエレクトロニクス機器の小型化・高効率に貢献</p>  <p>従来品との比較</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>定格出力密度^①</th> <th>損失^②</th> <th>想定動作周波数^③</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>今回 (SiC)</td> <td>1.8 (9.3kVA/cc)</td> <td>3分の1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>従来 (Si)</td> <td>1 (5.1kVA/cc)</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		定格出力密度 ^①	損失 ^②	想定動作周波数 ^③	今回 (SiC)	1.8 (9.3kVA/cc)	3分の1	4	従来 (Si)	1 (5.1kVA/cc)	1	1	
	定格出力密度 ^①	損失 ^②	想定動作周波数 ^③										
今回 (SiC)	1.8 (9.3kVA/cc)	3分の1	4										
従来 (Si)	1 (5.1kVA/cc)	1	1										
<p>三菱電機、家電向けSMT型パワーモジュールを発売 (2018/4)</p> <p>三菱電機株式会社は、パワー半導体モジュールの新製品として、家庭用エアコンのファンモーターなどのインバータシステムへの実装が容易な表面実装型1パッケージ1PM系「2MISOP (ミソップ) 1M系」3シリーズを9月1日に発売します。 3相インバータ装置を構成するRC-IGBT (Reverse Conducting IGBT) や高電圧制御IC、低電圧制御IC、電流制限抵抗付きフットストラップダイオードなどを1パッケージに収めた、パッケージ外形寸法が15.2mm×27.4mm×3.3mmの表面実装型で、リフローはんだ付け装置でプリント基板に実装できる。エアコンの室内機や室外機に使用するファンモーターや小型モーター、ウォーターポンプなどに同梱。3A型で¥480/個・サンプル価格。</p> 													
<p>ローム・アポロ筑後工場にSiCデバイス量産向け新棟建設 18-04-10</p> <ul style="list-style-type: none"> ロームは2018年4月10日、SiCパワーデバイスの生産能力強化のため、子会社であるローム・アポロの筑後工場（福岡県）に新棟を建設することを決定したことを発表した。新棟は、地上3階建て、延べ床面積は約1万1000㎡。現在、詳細設計を進めており、2019年に着工し、2020年に竣工する予定。 同社は、2010年にSiCパワーデバイス（SiC-SBD、SiC-MOSFET）の量産を開始。総社に先駆けてフルSiCパワーモジュールやSiCトレンチMOSFETの量産を開始するなど、産業界リードする技術開発を進めている。今後のSiCパワーデバイスの需要拡大に備えるべく、ローム・アポロに新棟を建設することを決定した。   <p>（写真：ローム・アポロ新工場）</p>													
<p>ロームが電気自動車大型レース(香港) VENTURI Formula EチームにSiCインバータを提供</p> <p>ロームは、12月2日から3日に開催で閉幕される電気自動車大型レースイベントである FIA Formula E 2017-2018 (シリーズ4) で、VENTURI Formula EチームにフルSiCインバータモジュールを提供することを発表しました。このモジュールは、レース条件下でワット性能を5%向上させます。SiCインバータが従来のシリコンインバータとして、ロームはシリーズのVENTURIの公式技術パートナーとなり、電気自動車レースのチャンピオンをインバータに採用される最も得意な先進的なSiCインバータを提供します。 シリーズ4のインバータは、安全なフルSiCインバータを内蔵しており、シリーズ2のインバータよりも4.4%小さく、6kgが軽量化を実現しています。</p> 													
<p>6. Something Newへの挑戦例</p> <ol style="list-style-type: none"> SiCの動作温度の上限は850℃とも言われている。今から7年前にNASAのスペースシャトル船外機で6H-SiC 3FETが500℃を超える環境で使用された(次スライド)。 従来シリコンなどマイクログル電子管使われてきた電子加速器にSiC高耐圧・高電圧スイッチを用いる試みが日本で進められている(Rohm社製)。 やはりNASAの計画で、金星の地上探査機のマイコンとしてSiCチップが用いられる計画がある。金星の大気気温は450℃とも言われている。 最後になつてしまつたが、WBGのSiC以外の動き (GaN, Ga₂O₃, Diamond) について現状を報告する。 GaNの新用途についてGE社が「国際用途アイディアコンテスト」を開催した。GEは3Dプリンタでもこのような試みをしたことがあり、面白い。 電動飛行機については、まず電動化できる部分からBoeing, Airbus社で実装化が進められている。遂に独り電動飛行機が初飛行した。 													

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

<p>High Temperature SiC Electronics Application: Amplified Dynamic Pressure Sensor for Active Combustion Control</p> <p>600 °C SiC dynamic pressure sensor</p> <p>SiCセンサ、600℃の使用例</p> <p>Filter inner passages can accommodate 200 °C SiC temp. sensor</p> <p>600 °C SiC dynamic pressure sensor installed at intake</p>	
<p>SiC High Temperature Electronics Status</p> <p>Simple SiC integrated circuits have been demonstrated reliable at 500 °C.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Junction field effect transistor (JFET) technology <ul style="list-style-type: none"> - avoids MOS oxide reliability issues, especially at high temperature - limits to integration because of poor compatibility (1 μW per gate) • Digital and analog SiC ICs reported in 1000s of bits at 500 °C • Operation from -125 to +500 °C demonstrated • Demos/protos devices have single interconnect level <ul style="list-style-type: none"> - <10 transistors and resistors per IC • ICs with >1000 transistors have been designed <ul style="list-style-type: none"> - Multilayer interconnects required • Multilayer interconnects demonstrated on small area <ul style="list-style-type: none"> - scaling up to 3 inch wafers <p>SiC IC、500℃の使用例</p> <p>200μm 10μm 6H SiC JFET</p> <p>JFET Current vs. Voltage Characteristics</p>	
<p>Packaged Devices and Test Setup</p> <p>Parallel fabrication and testing of both single-transistors and IC's</p> <p>Boards with chips reside in ovens. Oxidizing atmospheric air at 500 °C. Wires to test instrumentation. Continuous electrical testing at 500 °C.</p> <p>セラミックPKGだとSiCは500℃でも平気!!(NASA)</p>	
<p>金星探査機への応用：耐熱500℃への挑戦</p> <p>NASAの計画</p> <p>日本の計画</p> <p>Marschocoh計画は、EE Timesの記事に対し、「(高耐熱のSiCが適用されれば) 高耐熱の金星探査機(火星)のSiC JFET-ベースの回路は、回路の信頼性が保証される。このため、NASAの探査機計画を進める。今回のプロジェクトは、東京理科大学のシムズ博士が、金星探査機用のSiC JFET集積回路を開発している。また、9-μmゲート幅のMOSFETと、500℃で動作するSiC JFETを組み合わせた回路を開発している。これらの回路の一種として、MIP設計を行う予定である。</p> <p>NASAは、研究チームが金星探査機の用途に適合する半導体チップを開発し、PDKの定義や、製造プロセスの検証を完了し、金星探査機に搭載する半導体チップの、どのメーカーが製造するかを決定するとしている。</p>	
<p>SiCが変えるパルスパワー</p> <p>SiCを粒子加速器に!! Si-IGBTではX、SiCなら...</p> <p>パルスパワー 一瞬、時間で電気を瞬間的に供給するようなシステム</p> <p>どんなところに使われている? ガスレーザー、加速器、X線、プラズマ電源</p> <p>高電圧に耐えられて、素早く動作するスイッチが欲しい</p> <p>これまで</p> <p>真空管 サイロトロン</p> <p>これから</p> <p>SiCで高耐圧高速スイッチ!</p> <p>超電圧耐性高速スイッチ 高電圧に耐えられて、高速動作可能な素子。素子に電圧をかけることで、電圧を瞬間的に供給する。</p> <p>旭電機工業株式会社 日立製作所株式会社 三菱電機株式会社 富士電機株式会社 東芝株式会社 三菱電機株式会社 日立製作所株式会社 旭電機工業株式会社</p>	

■ A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

SiCコンバータを粒子加速器に!!

SiCデバイスを使った 5kW絶縁LLC DC/DCコンバータ

項目	仕様
出力電力	5 kW
入力電圧	800 V
回路方式	3相LLC絶縁共振
絶縁絶縁子	SiC MOSFET SiC Diodes
磁性部品	SCT7900MS (1.2kW/MVA) 2相絶縁変圧器
制御電子	SiC MOS SiC Diodes (CSD0V15A)
SW周波数	160-170 kHz
サイズ	180.3x120x125.3 mm ³
重量	1.55 kg

SiC高電圧パルス発生器構成例

図例1: 20kV/250A絶縁SiC高電圧パルス発生器 (airborne)

図例2: 20kV/250A絶縁SiC高電圧パルス発生器 (lander)

200kV/250Aパルス発生器
60台のSiC SW Moduleを搭載

GaNデバイスロードマップ

スマート社会
2030年頃

2020年頃

2025年頃

2030年頃

2016年頃

GaNとその応用 (Yole, 2016)

2014/6, Google とGEは100万ドルの懸賞金をかけて「小ボク্স型インバータコンテスト」を主催した。これは公開コンテストで、「小型kW級インバータ(50W/in²)」で効率が高く、電圧的ノイズが小さく、温度特性もよいのがゴールとしている。2016年までに実現できるか?

POWER DENSITY ENHANCEMENT
Added value enabled by GaN

LITTLE BOX CHALLENGE
Google & GE

SiC MOSFETs were used by the first entrant of the little box challenge organized by Google.

SiC MOSFETs were used by the first entrant of the little box challenge organized by Google.

When can be realized by 2016: 143 W/in²

GaN専業メーカーも増えてきた

GaN power devices players: What and how?

メーカー	電圧	モード	基板	寸法
Energy	600V	Enhancement mode	GaN/SiC	2"
ST	600V	Enhancement mode	GaN/Si	4"
Panasonic	600V	Enhancement mode	GaN/Si	6"
GaN Systems	650V	Cascode	GaN/Si	6"
Infineon	600V	Cascode	GaN/Si	8"
IEPCO	450V	Enhancement mode	GaN/Si	8"
transpherm	600V	Cascode	GaN/Si	8" (planned)

A11 【WBG パワーデバイスによるビジネス展開】 宮代講師

Table with 2 columns and 4 rows containing technical content. Row 1: World's first! Inverter-type SiC MOSFET operation verification success. Row 2: Power America's Output Example. Row 3: Automatic charging in-wheel motor EV. Row 4: SiC Power Electronics Business to be solved in the future.