

ミクロの界面が作るマクロな電気的性質

名古屋工業大学 大学院産業戦略工学専攻 教授 江龍 修

Professor Osamu Eryu
Master of Techno-Business Administration
Nagoya Institute of Technology



はじめに

CO₂排出量削減と各種機器の省エネルギー化が連動して、社会の関心事となって久しい。半導体産業においては素子の小型化に伴って1素子当たりの動作電力の省エネルギーが図られているが、社会が求める機能の増大に伴ってパッケージ化される素子数が増加し、結果としてパソコンなどに用いられる集積回路の利用エネルギーは増加する一途を辿っている。大型化し続けるテレビディスプレイも同様で、単位面積当たりの省エネルギー性は向上しているのだが、総面積が増大するが故に、結果として1情報量に対するエネルギー消費量が大きくなっている。

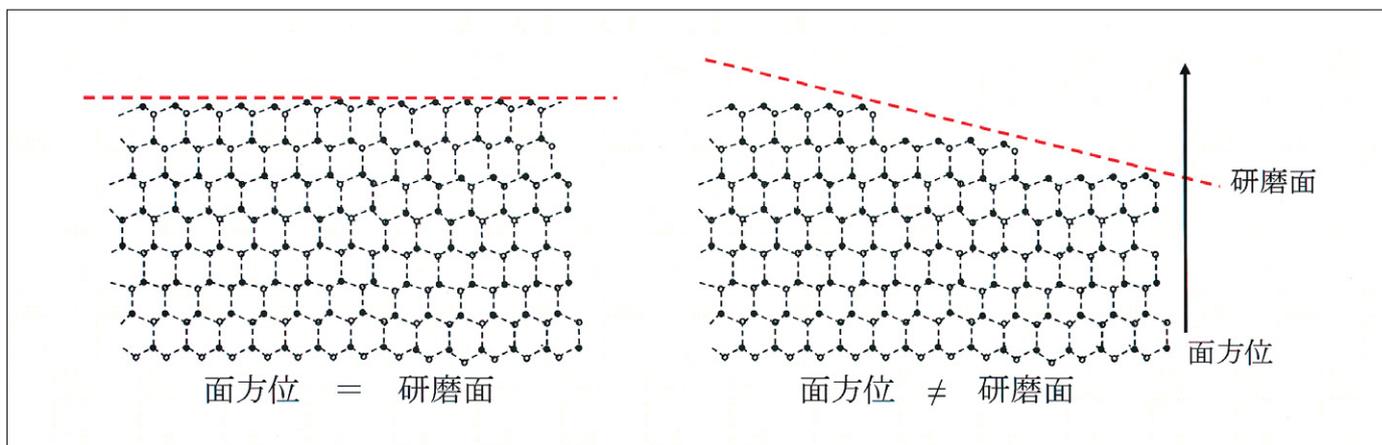
電子機器の構成を考えると、多くの機器に共通の要素として電源とその制御回路がある。パワーエレクトロニクスと呼ばれる部分であり、多くの機器がその進化の恩恵に与り、省エネルギー性のみならず、機能の向上を図っている。パワーエレクトロニクスの現在の主役はIGBT^{*1}やGTO^{*2}を構成する半導体シリコン(Si)である。人工物としては原子の規則配列と高純度は比類無い。そのSiが築くパワーエレクトロニクス分野に、2010年末、新顔として半導体炭化珪素(SiC)が仲間入りを果たした。単体デバイスとして量産化が始まり、更に、民生エアコンに搭載され、期間消費電力を6%削減する効果を発揮している。また、近年、開発が急務となっている電気自動車モーター制御回路においても、Si製IGBTをSiC

製MOSFET^{*3}とショットキーダイオードに置き換え2%のエネルギー削減を実現したことが報告されている。電源の省エネルギー化は、電子機器を利用するユーザーにとって無意識の省エネルギー活動を提供するものであり、消費者が電気エネルギー利用を通して環境活動改善に関係する好例と感じる。本稿では筆者が行ってきたSiC半導体基板のミクロな仕上げとそれが生み出すマクロな電気的性質について紹介させて頂く。

SiC単結晶材料の性質

SiCはSiとCの化合物半導体である。Si原子はC原子に、C原子はSi原子に互いに囲まれ四面体構造をとり共有結合している。また、SiとCは結合の電子を引きつける力がことなり、Si面は正に、C面は負にそれぞれ電荷が偏っている。そのため、デバイスの作製には、Si面C面それぞれの物性的特徴を発現している基板を使用し、最適面方位を検討する必要がある。

第1図は6H-SiCを(11 $\bar{2}$ 0)面から見た原子配列である。Siも同様であるが、単結晶を基板に作り込む際の、研磨面と面方位のズレによりステップが形成される様子を模式化している。ステップの高さは0.25nmとなる。研磨においては、研磨機の構成上、研磨面と面方位を完全に一致させることが困難である。この為研磨面には、この角度の偏差によって単結晶故の原子ステップが形成される。SiCの研磨において特徴的なことは、SiとCの



第1図 研磨面と結晶面方位との関係

電気的中性を保とうとするため、SiとCの対となった高さの原子ステップが現れることにある。SiCの研磨面においてこのようなステップが観察できることは、研磨面に原子レベルの平坦性が実現できているという指標となる。

SiC材料の表面加工と電気的特性

第2図は市販されているSiC基板とその基板を化学機械研磨(CMP)加工を施したものの表面状態とその上に形成したショットキーダイオードの特性である。縦軸は逆方向電圧が印加された時のダイオードの漏れ電流密度を表している。第2図において上段が原子間力顕微鏡(AFM)観察像である。階段状の縞模様が観察出来る。この縞模様は第1図で示した、研磨面と結晶方位とが異なることによって生じる原子ステップであり、その高さは実測すると0.25nmであることから、第1図に示すステップ構造が形成されることが明らかとなったものである。市販されているSiC基板表面は、原子ステップが形成されているものの、基板面内において不均一さが目立つ。AFM像の内、左の2枚がCMP加工前のものであるが、基板の異なる箇所でも、第2図に示す様な違いが見いだせる。このような基板上にショットキーダイオードを作製すると、AFM像の下に示した電気的特性から低い電圧から漏れが生じていることが解る。横軸がダイオードに印加した逆方向電圧であり、一般にダイオード耐圧と呼ばれる電圧である。一方、CMP加工を施し基板面内のステップ高さとステップ幅を均一に整形すると、1200Vの耐圧が容易に得られることが明らかとなった。冒頭で述べた現在の市販されているSiC電子デバイス製造においても、本手法が活かされており、マクロな電気特性がマイクロな材

料表面に強く依存していることが明らかとなった。今後、半導体SiCはパワーデバイス分野においてGaNと並び立つ材料であると考えが、マイクロな表面特性の取り扱いが、新電子材料が世に価値を生み出すキーテクノロジーとなると考える。

おわりに

大電力を制御する基幹電力設備においても、電線とトランスの結合等、材料表面同士の接触点は極めて多い。直流特性のみではなく交流特性においても材料表面の特性は、設備トータルの電気的特性や寿命に影響を及ぼす。表面という、材料においては極めて薄い領域の物性ではあるが、電気はその材料の表面を通過して材料同士を伝播していくことを見つめ直し、新たな機器の開発を行って頂くことを願う。利用し始めてから「素晴らしさの実感」がある製品作りへのシフトが、エレクトロニクス業界のみならず、サービスも含めた日本の「ものづくり」産業に求められていると考える。

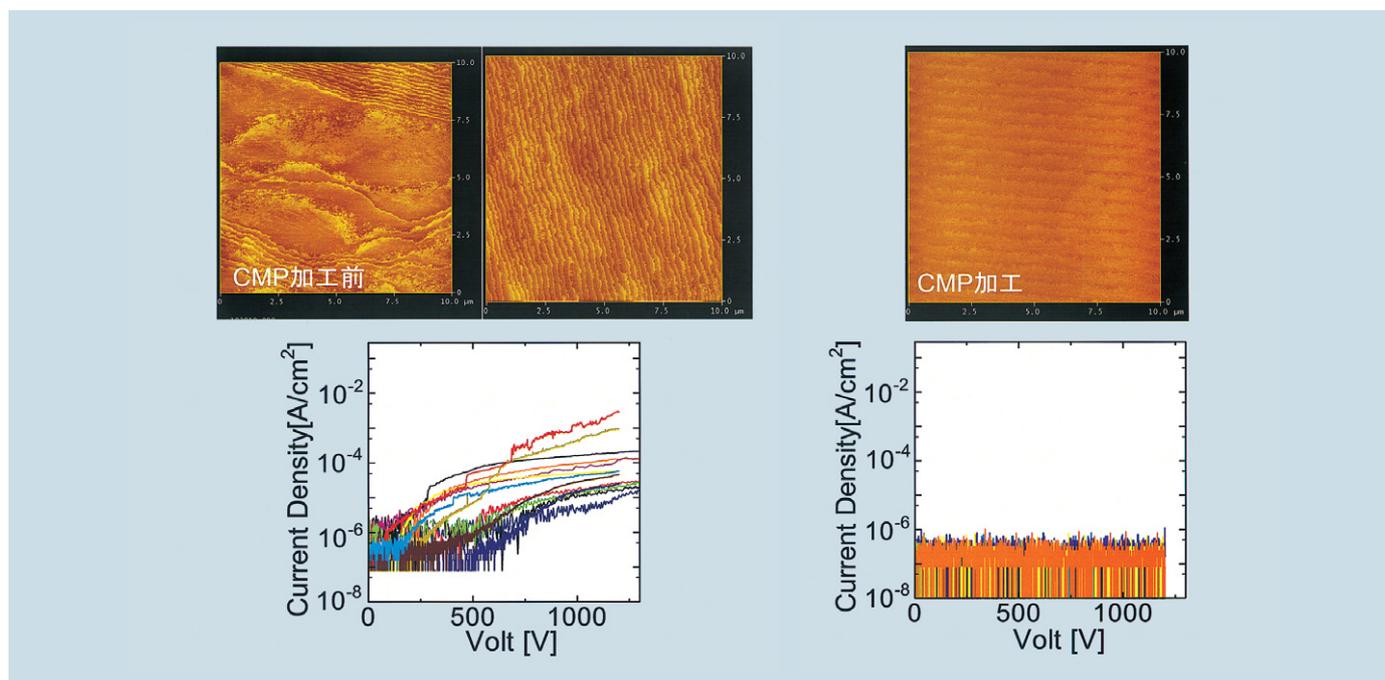
※1 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor: 絶縁ゲート型バイポーラ トランジスタ)

※2 GTO(Gate Turn-off thyristor: ゲート ターンオフ サイリスタ)

※3 MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor : 電界効果トランジスタの一種)

江龍 修(えりゅう おさむ)氏 略歴

平成 2 年3月 筑波大学大学院工学研究科物質工学専攻博士課程修了
 平成 2 年3月 工学博士(筑波大学)
 平成 2 年4月 筑波大学物質工学系助手
 平成 5 年5月 名古屋工業大学工学部講師
 平成10年2月 名古屋工業大学工学部助教授
 平成17年7月 名古屋工業大学工学部教授



第2図 CMP加工前基板とCMP加工後基板表面のAFM像(10 μ m \times 10 μ m)と、それぞれの基板上に作製したショットキーダイオード特性