

硬 X 線光電子分光解析による Si/SiC ヘテロ構造のバンドアライメント評価 Evaluation of Band-Alignment on Si/SiC Interface by Hard-X-ray Photoemission Spectroscopy

花房 宏明^a, 岩室 憲幸^b, 木村 浩^c
Hiroaki Hanafusa^a, Noriyuki Iwamuro^b and Hiroshi Kimura^c

^a広島大学, ^b筑波大学, ^c富士電機(株)
^aHiroshima University, ^bUniversity of Tsukuba, ^cFuji Electric Corp.

本研究では我々が提案している金属/Si/SiC 構造を用いたオーミックコンタクト形成に関してそのメカニズム解明を目的に SiC バルクウエハと SiCA 処理サンプルを硬 X 線光電子分光測定 of 角度分解評価を行い、表面のバンド構造の推定を行った。その結果、SiCA を施すことで表面のポテンシャル障壁 (SiC 表面のバンドの曲がり) が小さくなることでオーミックコンタクトが形成されていることが示唆された。

キーワード: 炭化ケイ素、オーミックコンタクト、硬 X 線光電子分光、バンドアライメント

背景と研究目的:

省エネルギーで高効率なパワーデバイスを実現すべく次世代材料として研究が進められている SiC (炭化ケイ素) 半導体は鉄道などのパワーモジュールに採用され、製品化が進められている。しかしながら、材料が持つ優れたポテンシャルがすべて引き出されているとは言えない。その要因の一つとして、広いバンドギャップに起因して、電流を取り出す電極金属との間にショットキー障壁が生じ、低抵抗なオーミックコンタクトを形成することが極めて難しいという課題がある。一般的には、ニッケル (Ni) などの金属を堆積した後に 1000°C 程度の高温熱処理を行い形成されるシリサイド合金を電極と SiC の界面に挿入する方法がとられている。しかし、界面反応として SiC から金属側へ Si が移動し、また、炭素が界面に偏析する。これらは電極の高抵抗化や剥離を引き起こし、信頼性を低くする。炭素偏析層の除去プロセス導入や配線金属とコンタクト金属を別に形成する方法が取り入れられている。しかし、そのシリサイド化プロセスは高い熱処理温度に起因して前工程で形成されている金属-酸化物-半導体 (MOS) トランジスタにおける酸化膜層の劣化を引き起こす。これらのことから、「高温シリサイド化熱処理を低温化、もしくは無くす」ことが可能となれば、製品として非常に重要な信頼性の大幅な向上が期待でき、さらには、SiC トランジスタの物性値を引き出すにあたってボトルネックである酸化膜界面特性の向上が期待できる産業上極めて重要な技術となりうる。また、SiC デバイスのみならず、多くの電子デバイス作製プロセスにおける新しい基盤手法となる可能性を有している。

上記したシリサイド化に伴う電極形成の課題に対し、申請者は高不純物濃度 Si 層を電極金属と SiC の間に挿入することで、金属と SiC 間の実質的なバンドオフセットを低減する手法を独自に提案し、研究を推進してきた[1-3]。本提案法はアモルファス状態で Si 中に不純物を導入し、その後、短時間の熱処理で結晶化すること (シリコンキャップアニール: SiCA) で通常の結晶成長法では成し得ない高濃度の不純物を導入した Si 層を電極金属と SiC の間に挿入し、金属とショットキー障壁が形成される界面を Si 層に変えるとともに、SiC に対する実質的

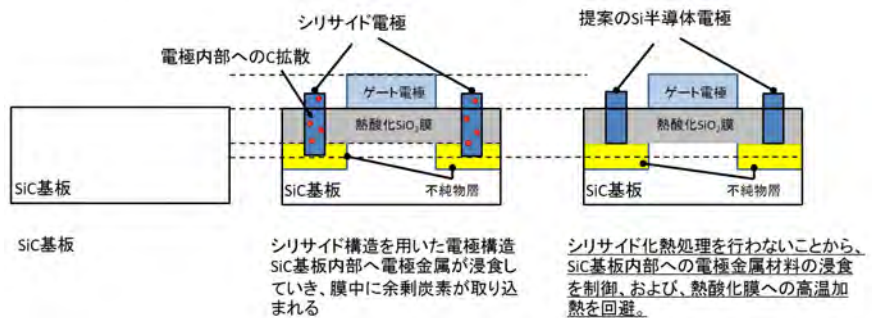


図1 従来法と提案法の構造の違い

なポテンシャル障壁を低減する技術である。(図1に従来法と提案法の違いを記載)

本提案法を用いることで電極金属堆積後には一切の加熱処理を行わずに、実用上十分な低抵抗コンタクトを形成することに成功している。この SiCA 技術は上記した「シリサイド化熱処理を行わないオーミックコンタクトの形成方法」に相当し、本手法を確立することで、SiC-MOS トランジスタの性能向上がなされ、産業上大きな波及効果が期待できる。

現在はデバイスレベルの検証を進めているところである。しかし、オーミックコンタクトが形成される要因は明らかにされておらず、さらなる特性向上のためにはその詳細なメカニズム解明が急務である。さらに、最近の研究にて SiCA 後に Si 層を除去した状態で SiC へ金属を蒸着するだけでオーミックコンタクトが形成出来ていることが分かった。そのため、オーミック特性が得られる原理を硬 X 線光電子分光測定によるバンドアライメント解析の見地から解明することを達成目標とした。本申請の目標を達成することにより、金属/Si/SiC 構造においてなぜシリサイド化熱処理を行わずともオーミックコンタクトが形成されるのか、バンドアライメントはどうなっているのかが明らかになり、いまだ十分なポテンシャルを発揮できていない SiC-MOS トランジスタの設計指針確立の一助となると考えられる。

実験：

本研究で提案している金属/Si/SiC 構造を用いたオーミックコンタクト形成に関してそのメカニズム解明を目的とした提案構造のバンドアライメントを決定する為、SiC バルクウエハ、SiCA 処理サンプル、SiCA 後に Si 層を除去した SiC ウエハの3サンプルを用意した(図2)。サンプルは 5 mm×10 mm で厚さ 300 μm のプレート形状で、角度分解測定により評価領域の組成ずれが無いよう全面で同じ処理を行ったサンプルを用意した。ビームラインは BL46XU を利用し、VG SCIENTA 社製 R4000 を用いて HAXPES 測定を行った。Au にてエネルギーの較正を行い、パスエネルギー 200 eV とした。光電子検出角度 (TOA) はそれぞれ 10, 15, 20, 30, 80° とし、角度が浅くなるに従い、スイープ回数を増やして測定を行った。また、中和銃は使用しなかった。それぞれ、Si2p, Si1s, C1s, バレンス軌道をそれぞれの TOA にて測定した。



図2. 評価サンプル構造

結果および考察：

図3に本測定で得られた SiCA 処理の有無 (サンプル①と③) による Si1s 軌道の測定結果を示す。SiC バルクウエハでは TOA の変化に伴いピーク位置が 0.29 eV 変化した。一方、SiCA 処理したサンプルにおいてはピーク位置の変化が 0.08 eV と非常に小さくなるという結果になった。また、SiCA 処理サンプルの表面エネルギーは SiC バルクウエハの深い領域のエネルギーよりもさらに高いところにあるということをデータは示しており、伝導帯および価電子帯の位置が SiCA 処理により大幅に変動していることが示唆される。

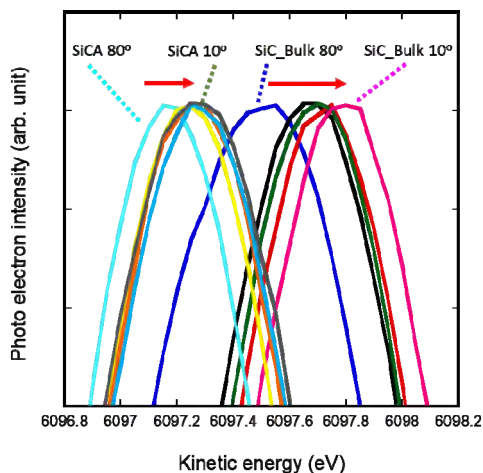


図3. Si1s 軌道の測定結果

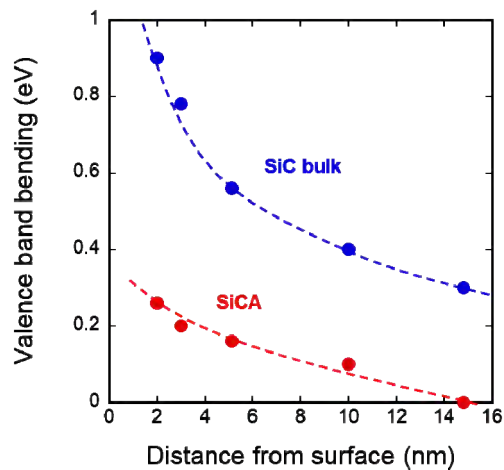


図4. 深さ方向のバレンスバンドの変化

その検証のため、バレンス測定によるバレンスの立ち上がりから深さ方向のバレンスバンドの曲がり見積もった (図4)。バレンスエネルギーの解析からも SiCA を施すことで表面のポテンシャル障壁 (SiC 表面のバンドの曲がり) が小さくなり、HAXPES で見えている範囲 (深さ) で SiCA サンプルの表面近傍の伝導帯が明らかにバルクよりも高いエネルギーに位置していることが改めて示唆された。Si1s 軌道から見積もったエネルギーの変化幅とバレンス測定から見積もった変化幅が異なる。このことに関してはさらなる詳細な調査と解析を進め、明らかにしていく予定である。これらのことから、SiCA によりバルクウエハよりも表面のバンドの曲がり抑制されていることが分かった。これは表面の欠陥が終端されている可能性や逆に欠陥によりバンドの曲がり縮小されていることが考えられ、これらが作用してオーミックコンタクトが取れている可能性が考えられる。

参考文献：

- [1] 谷口 太一、花房 宏明、東 清一郎、第 64 回応用物理学会春季学術講演会 15p-F204-8 (2017.3.14-17、パシフィコ横浜)。
- [2] 谷口 太一、花房 宏明、東 清一郎、先進パワー半導体分科会 第 3 回講演会 P-84 (pp. 212-213) (2016.11.8-11.9、つくば国際会議場)。
- [3] H. Hanafusa, A. Ohta, R. Ashihara, K. Maruyama, T. Mizuno, S. Hayashi, H. Murakami, and S. Higashi, Mater. Sci. Forum., Vol 778-780, pp.649-652 (2014).