

半導体デバイスの熱制御および冷却効率向上のための界面評価の研究

中津川博^a・岡本庸一^b・山口作太郎^c・河原敏男^c・田仲圭^d
長谷川繁彦^e

^a横浜国立大学、^b防衛大学校、^c中部大学、^d大同分析リサーチ
^e大阪大学産業科学研究所

(背景と目的)

半導体技術の発展と共に電子デバイスの発展は目覚しく、ますます、高性能化、高集積化が進められている。その中で、電子デバイスの発熱が大きな問題となっている。例えば、デバイスの発熱はデバイス自身の動作限界を制限する一方、発光デバイスの波長の精密制御のための温度安定性に対する要求は日々厳しさを増している。そのため、ヒートパイプだけでなく、温度依存性の無いバンドギャップ半導体の開発や、より高性能な水冷機構なども実用化しつつある。また、より革新的な電子デバイスの効率的な電子冷却手段として、熱伝導性が高くパーファクターの大きな熱電半導体による自己冷却機構も提案されている¹⁾。従って、動作の最適化やその解析には、接触抵抗の原因となる界面やデバイス中のナノレベルでの温度解析評価が重要である、

本研究は、パワーデバイス等の高性能化による省エネルギー半導体デバイスを実現するために、従来の Si デバイスを凌駕する自己冷却型デバイスの高性能・実用化に向けて、ナノレベル界面制御による低接触抵

抗電極技術の確立とナノ微粒子を用いた高熱伝導・高電気伝導焼結体のプロセス開発を目指し、パワーデバイス冷却効率の検証を行うことを目的としている。具体的には、表面電位顕微鏡(Kelvin Force Microscope, KFM)を用い、室温で Au 蒸着した Si 薄膜と Au 蒸着していない Si 薄膜の表面電位を測定し、温度差を付けた状態で測定した表面電位と比較することによって、化学ポテンシャル(フェルミエネルギー)の変化から仕事関数を明らかにする。

前回、室温での表面電位顕微鏡像に Au 蒸着の有無で明確な差異を確認することに成功したが、今回は、明確な差異を確認することはできなかった。

(研究方法)

表面電位顕微鏡(Kelvin Force Microscope, KFM)を用いて、サファイア基板上に成長させた Si 薄膜(150nm)上および Si 薄膜上に Au 蒸着(70nm)した Au 上の表面電位をそれぞれ室温で測定し、その化学ポテンシャル(フェルミエネルギー)の変化から Si 薄膜の仕事関数を短針-試料間の接触電位差より明らかにする。KFM は、

走査型プローブ顕微鏡(JSPM-4200)に付加された試料の表面電位を測定する装置であり、短針-試料間に働く静電気力を交流モード原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope, AFM)を用いて検出し、静電気力が最小となる試料バイアス電圧を測定することで試料表面電位を画像化する装置である^{2,3)}。

(結果および考察)

図1および図2は、前回、視野20 μ m角で観察したAFMおよびKFM像である。図2より、AuよりもSiの方が約0.5V表面電位が高くなっていることが確認され、AuとSiの化学ポテンシャルの差、即ち、Siのband gapをダイレクトに確認することに成功した。

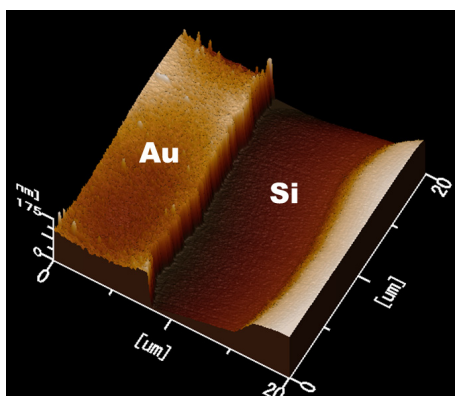


図1. Au/Si境界のAFM像

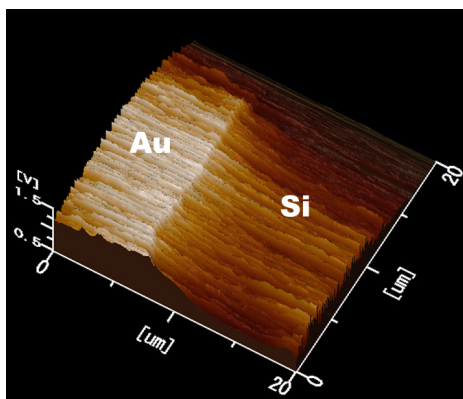


図2. Au/Si境界のKFM像

今回、前回同様に Au/Si 界面での化学ポテンシャルの差を確認するために、サファイア基板上に成長させた Si 薄膜(150nm)とその一部に Au 蒸着(70nm)した試料を用意した。図3は、視野20 μ m角で観察したAFM像であり、明確な段差を伴ったAu/Si境界線を捕えることに成功し、表面電位を観測する準備が整った。しかし、図4に示す通り、AuとSiの化学ポテンシャルに明確な差異を確認することができなかった。

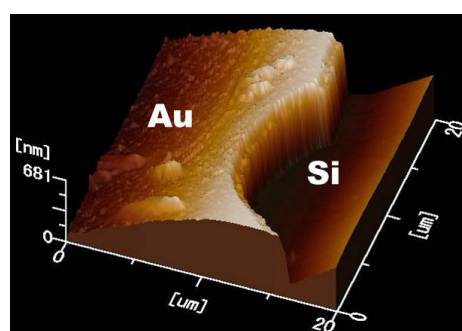


図3. Au/Si境界のAFM像

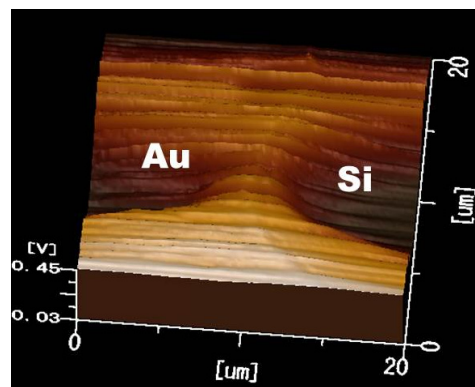


図4. Au/Si境界のKFM像

今後は、前回と今回の現象を解明することと同時に、冷却システム(TM-24082)を用いて温度差を付けた時のKFM像の差異を確認することが課題として挙げられる。

参考文献

- 1) S. Yamaguchi, ULVAC, **52**, 14 (2007).
- 2) 横山浩, 他, 日本物理学会誌, **49**, 281 (1994).
- 3) T.Hochwitz, J.Vac.Sci.Technol., **B14**, 457 (1996).