

W 内包 Si クラスタを凝集したシリサイド半導体薄膜の電気伝導特性

Electrical properties of silicide semiconducting films composed of W-encapsulating Si clusters

○岡田 直也^{1,2}, 内田 紀行², 金山 敏彦² (1. JST さきがけ, 2. 産総研)

○Naoya Okada^{1,2}, Noriyuki Uchida², and Toshihiko Kanayama² (1. JST, PRESTO, 2. AIST)

E-mail: okada-naoya@aist.go.jp

【はじめに】我々は、遷移金属原子を内包した Si クラスタを単位構造に持つ半導体薄膜を合成し、半導体基板と金属との接触界面に挿入することで、接触抵抗を大幅に低減する技術の開発を行っている。本材料は、1) 原子組成がほとんど Si で構成されているため半導体基板と接合形成した際に界面準位を発生させないことや、2) 超高キャリア濃度を保持することで、半導体基板とのオーミック接合が期待できる。これまでに、W 内包 Si_n クラスタ ($n=8-14$) を原子層厚に堆積して、高抵抗 n 型 Ge 基板上にアモルファス膜 (a- WSi_n 膜) を、 n 型 Si 基板上にエピタキシャル膜 (e- WSi_n 膜) を形成し、金属接合との接触抵抗低減を報告している^[1,2]。これらの接合特性から、a- WSi_n 膜は 1) の、e- WSi_n 膜は 1) と 2) の材料特性を保持していると推測してきたが、それぞれの膜固有の物性は不明であった。そこで、膜の電気伝導特性を評価し、エネルギーバンド構造を調べた。

【実験】レーザーアブレーションで生成した W 原子と SiH_4 ガス (50 Pa) との反応により WSi_nH_x クラスタ ($n=8-10$) を合成し、基板温度 ~ 200 °C で石英基板上と高抵抗 SOI (面方位(100)) 上に堆積し、300–500 °C の熱処理を行い、 WSi_nH_x クラスタに含有する水素を脱離させてクラスタ同士の凝集を促した。クラスタ凝集体は、石英基板上ではアモルファス状態を維持し (a- WSi_n 膜)、SOI 上ではエピタキシャル成長した (e- WSi_n 膜)。

【結果】図 1 にホール測定により得られた a- WSi_n 膜のキャリア移動度の温度依存性を示す。堆積直後では、キャリアタイプが ~ 340 K を境に n 型から p 型に変化し、フェルミレベル (E_f) が伝導帯端近傍 ($< \sim 340$ K) から価電子帯端近傍 ($> \sim 340$ K) に移動した。熱処理後の移動度は、測定温度に関わらず ~ 0 を示した。 ~ 280 °C の熱処理で脱水素が観測されることから、脱水素により形成された Si のダングリングボンドがミッドギャップに状態を形成し、その状態に E_f がピンニングされ、電子濃度と正孔濃度が均衡して移動度が ~ 0 になったと考える。電気伝導率の温度依存性より算出した活性化エネルギー ($E_a \sim -0.05$ eV) は、 E_f から移動度端までのエネルギー差を示しており、 E_f がミッドギャップにピンニングされているとすると移動度ギャップは ~ 0.1 eV と見積もられる。光吸収測定より求めた光学ギャップは ~ 0.6 eV で、バンド構造は図 2(a) のようになる。一方、e- WSi_n 膜の E_a から見積もったバンド構造は図 2(b) のようになる^[3]。Si 格子と整合するためにクラスタ構造が大きく歪むことが原因で、膜内に欠陥が生成し、高濃度のドナー準位 (E_d) を形成すると推定している。

【まとめ】 WSi_n 膜はエネルギーギャップを持つ半導体である。これはエネルギーギャップを持つ WSi_n クラスタから構成されていることに起因する。膜のバンド構造はクラスタの凝集状態に従って変化する。a- WSi_n 膜では、クラスタ同士のランダムな結合ネットワークやダングリングボンドによりバンドテールやミッドギャップに状態が形成される。e- WSi_n 膜では、エピタキシャル成長で導入された欠陥によりドナー準位が形成される。従って、 WSi_n 膜のバンド構造やキャリア伝導特性の制御にはクラスタの凝集状態や欠陥密度の制御が重要となる。

【参考文献】[1] N. Okada, et al., *APL*, **101**, 212103 (2012). [2] N. Okada, et al., *APL*, **104**, 062105 (2014). [3] 岡田直也, 他, 第 75 回秋季応用物理学会 18a-A19-8, (2014).

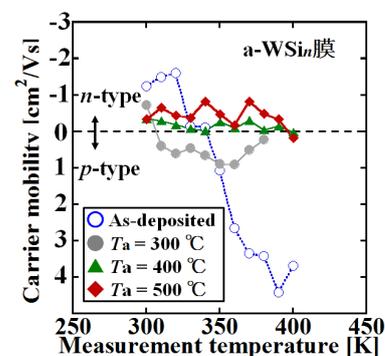


図 1. a- WSi_n 膜 (熱処理 $T_a = 300-500$ °C) のキャリア移動度の温度依存性

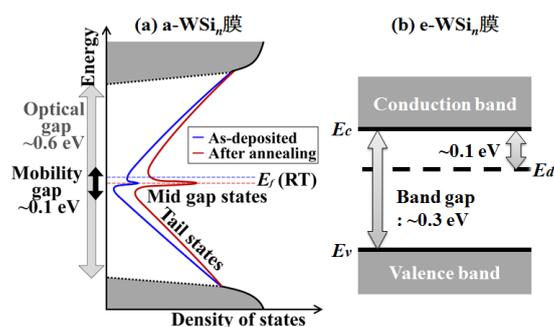


図 2. (a) a- WSi_n 膜と (b) e- WSi_n 膜のバンド構造図