

## W 内包 Si クラスターを凝集した原子層厚シリサイド膜の電気伝導特性

## Electrical properties of epitaxial Si-rich silicide films composed of W-encapsulating Si clusters

JST さきがけ<sup>1</sup>, 産総研<sup>2</sup> °岡田 直也<sup>1,2</sup>, 内田 紀行<sup>2</sup>, 金山 敏彦<sup>2</sup>JST, PRESTO<sup>1</sup>, AIST<sup>2</sup>, °Naoya Okada<sup>1,2</sup>, Noriyuki Uchida<sup>2</sup>, and Toshihiko Kanayama<sup>2</sup>

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

【背景】MOSFET の微細化に伴い、ソース/ドレインの接合急峻性や接触抵抗低減の必要性が高まっている。本研究では、新しい接合材料として、遷移金属内包 Si クラスター ( $MSi_n$ ,  $M = Mo, W, Nb, Zr$  など,  $n=7-20$ ) を単位構造とした原子層厚シリサイド膜 ( $MSi_n$  膜) に着目する。これまでに、高抵抗  $n$ -Si 基板上に  $WSi_n$  クラスター ( $n=8-10$ ) を堆積して原子層厚のエピタキシャル膜を成長させ、オーミック接合が形成できることを報告している<sup>[1]</sup>。Si 基板との接合特性から、本材料が高キャリア濃度 ( $\sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上) でバンドギャップが  $\sim 0.6 \text{ eV}$  の  $n$  型半導体であると推測している。これらを明らかにするために、 $WSi_n$  膜の電気伝導特性評価により、キャリア濃度やドナー濃度、ドナー準位の位置を調べた。

【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  $WSi_nH_x$  クラスター ( $n=8-10$ ) を合成し、基板温度  $\sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$  で SOI (面方位(100)、膜厚: 12 nm、抵抗率:  $p$  型  $9-15 \Omega \cdot \text{cm}$ ) 上に堆積した。堆積後に  $300-500 \text{ }^\circ\text{C}$  の熱処理を行い、 $WSi_nH_x$  クラスターに含有する水素を脱離させてクラスター同士の凝集を促し、エピタキシャル層 (膜厚:  $\sim 1 \text{ nm}$ ) を形成した。ここで、基板に高抵抗の  $p$  型 SOI を用いることで、 $n$  型半導体である  $WSi_n$  膜の電気的特性測定に下地基板が影響しないようにした。

【結果】ホール効果測定より、室温で電子移動度 ( $\mu$ ) が  $8.3-8.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、電子濃度 ( $n$ ) が  $6.5-8.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  であった。電気伝導率 ( $\sigma$ ) の温度依存性は室温付近で  $0.08-0.21 \text{ eV}$  の活性化エネルギー ( $E_a$ ) を示した (図 1)。電子濃度が高い値を示すことから、室温付近でフェルミ準位が伝導帯端近傍にあるとすると ( $E_C \approx E_F$ )、 $\sigma$  と  $n$  の温度依存性理論式 (式 1, 2) から、 $E_a$  は伝導帯端からドナー準位 ( $E_C - E_D$ ) までの値に相当し、キャリアの成因となるドナー濃度  $N_D/g$  ( $N_D$ : ドナー濃度,  $g$ : ドナーの状態多重度) は  $\sim 1-6 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  と算出される。この  $N_D$  値は、 $g \sim 1-5$  とすると膜中の W 原子濃度 ( $\sim 5 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ ) に近いことから、W 原子が深さ  $0.08-0.21 \text{ eV}$  のドナー準位を形成していると考えられる。ドナー準位の成因が W の  $d$  軌道であれば、 $g \sim 5$  と大きな値を示すことは妥当である。また、XPS 測定より求めた価電子帯端からの  $E_F$  は  $\sim 0.5 \text{ eV}$  なので<sup>[2]</sup>、 $WSi_n$  膜のバンド構造は図 2 のようになり、 $E_D$  から  $E_C$  への電子の熱励起が電気伝導に寄与していると考えられる。

【まとめ】 $WSi_n$  膜のキャリア濃度とバンドギャップは、 $n$ -Si との接合特性から推測した値と整合する。また、温度依存性から算出したエネルギー準位に基づき、 $WSi_n$  膜中で W 原子は深さ  $0.08-0.21 \text{ eV}$  のドナー準位を形成していると推定する。

参考文献: [1] N. Okada, et al, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 212103 (2012). [2] S. J. Park, et al. *J. Appl. Phys.* **111**, 063719 (2012).

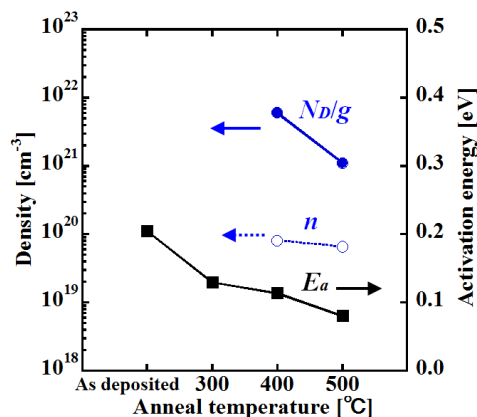


図 1.  $WSi_n$  膜の電子濃度 ( $n$ )、ドナー濃度 ( $N_D/g$ )、及び活性化エネルギー ( $E_a$ ) の熱処理温度依存性。

$$\sigma = q \times n \times \mu \quad (\text{式 1})$$

$$n = \frac{N_D}{1 + g \times \exp\left[\frac{E_F - E_D}{kT}\right]} \quad (\text{式 2})$$

$$\approx \frac{N_D}{g} \times \exp\left[\frac{-(E_C - E_D)}{kT}\right]$$

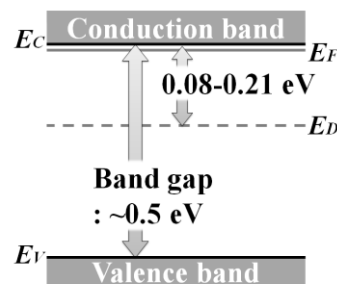


図 2.  $WSi_n$  膜のバンド構造図