27p-PB4-12

S 導入した NiGe/Ge と NiSi/Si のショットキーバリアハイト変調の比較検討

Comparative study of Schottky barrier height modulation in S-introduced NiGe/Ge and NiSi/Si junctions

産業技術総合研究所 グリーン・ナノエレクトロニクスセンター ° 小池 正浩, 上牟田 雄一, 手塚 勉
Green Nanoelectronics Center, AIST　M. Koike, Y. Kamimuta, and T. Tezuka
massahiro.koike@aist.go.jp

メタル S/D Ge nMOSFET 開発において、メタルのフェルミレベルが Ge の価電子帯付近にピニングされることが問題になっている。メタル/n チャネル接合のショットキーバリアハイト (SBH) ϕ_{Bn} が高くなるため駆動電流が低くなり、メタル/pGe 基板接合の SBH ϕ_{Bp} が低くなるためリーク電流が高くなるからである。前回、NiGe のようなメタルからなる S/D を想定し、NiGe/Ge 界面に S 導入して SBH 変調できるかを調べた [1]。その結果、NiGe/nGe の電流を増大できることがわかったが、それはショットキー電流以外の電流が支配的になったためであり、実効的に ϕ_{Bn} 低減したためと考えられる。一方で NiSi/nSi では界面に S 偏析させると ϕ_{Bn} が 0.07 eV まで低減できたという報告がある [2]。S の効果が Ge と Si ではどのように違うのか調べるために、本研究では S 導入した NiGe/Ge と NiSi/Si の SBH 変調の比較検討を行った。

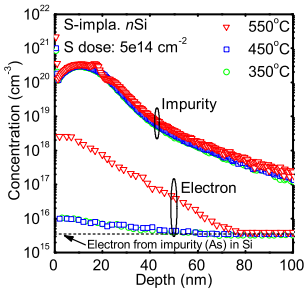

FIG. 1: Profiles of impurity and electron concentrations in S-implanted nSi(100).

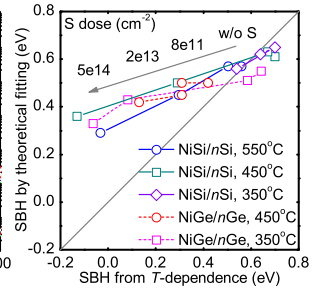

FIG. 2: Relationship between SBH values of NiGe/nGe and NiSi/nSi estimated by two methods.

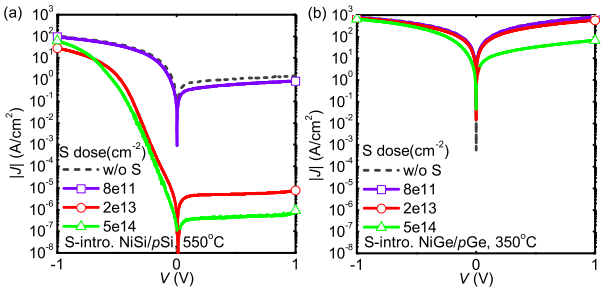

FIG. 3: J–V characteristics of S-introduced NiSi/pSi and NiGe/pGe diodes.

まず NiGe や NiSi 形成無しの場合に S 導入した Ge や Si 中の電子状態がどのようであるかを確かめた。Ge(100) と Si(100) 基板に、様々な条件 (ドーズ量 8×10^{11}, 2×10^{13}, 5×10^{14} cm^{-2}, 加速エネルギー 10 keV) で S イオン注入し、様々な条件 (250–550°C, 1 min, N_2 雰囲気) で熱処理して、不純物とキャリア濃度プロファイルをそれぞれ SIMS と拡がり抵抗 (SR) 分析によって調べた。その結果、S によって Ge と Si 中で電子生成されることがわかった。これは S がダブルドナーであり $((0/+)=E_c-0.280\,(0.318), (+/++)=E_c-0.590\,(0.618)$ eV for Ge:S (Si:S) [3]), n 型ドーパントとして働いたためと考えられる。

続いて上記熱処理前の Ge や Si 上に Ni (10 nm) を堆積して S 導入 NiSi/Si と NiGe/Ge を作製し、SBH を調べた。

n 型ダイオードの J–V 特性は、Ge と Si 共に、S ドーズ量が高くなるほどオーミック特性に近づき、ϕ_{Bn} が低減しているように見えた。そこで ϕ_{Bn} がどのように変調されているか確かめるために、理論式 [4] とのフィッティング ($J=A^*T^2\exp(-q\phi_B/k_BT)[\exp(qV/k_BT)-1]|_{T=300\,\mathrm{K}}$) および温度依存性 [$\phi_B=-(k_B/q)\Delta\log(|J|/T^2)/\Delta(1/T)$; T=223–413 K] の二つの方法によって ϕ_{Bn} を見積もった。様々な条件で作製した n 型ダイオードに対して二つの ϕ_{Bn} の関係をプロットすると (図 2)、NiGe/nGe だけでなく NiSi/nSi の場合にも S ドーズ量が高くなるほどずれていき、つまりショットキー電流とは見做せなくなる。また NiGe/nGe と NiSi/nSi に対するデータはほぼ同様の直線上に分布することから、S 導入が NiGe/nGe と NiSi/nSi の電流を同じように変調していると考えられる。そのような電流になる理由として、例えば、S の n 型ドーパントの性質によってバンドが強く曲がり TFE(熱電子電界放出) 電流が支配的になる可能性や、Ge や Si 中に形成された S の深いドナーレベルを介した電流が影響する可能性がある [1, 5, 6]。つまり S によって ϕ_{Bn} は、NiGe/Ge, NiSi/Si の両方で実効的に低減されている。

NiSi/pSi の場合には、S ドーズ量が高くなるほど電流が低く抑えられている [図 3(a)]。これは S の n 型ドーパントの性質によって界面に n^+/p 接合が形成されたためと考えられる。一方で、NiGe/pGe の場合には、S ドーズ量が高くなってもほぼオーミック特性のままである [図 3(b)]。この結果から S の効果は Si より Ge では低く見える。しかし、これは Si のバンドギャップ E_g(=1.12 eV at 300 K [4]) より Ge の E_g(=0.66 eV at 300 K [4]) が狭いことで説明が可能である。NiGe/Ge と NiSi/Si の ϕ_{Bn} がほぼ同じであることと (図 2)、理想的には $\phi_{Bn}+\phi_{Bp}=E_g$ になることをあわせて考えると、ϕ_{Bp} は NiGe/pGe より NiSi/pSi において高くなるからである。

このように、NiSi/Si と NiGe/Ge に対する S 導入の効果はほぼ同じであり、SBH は同様に実効的に変調されることがわかった。

本研究は政府の最先端研究開発支援プログラムにより助成されたものである。

[1] 小池、上牟田、手塚、応用物理学関係連合講演会 18a-A6-10 (2012); M. Koike *et al.*, Ext. Abstr. SSDM, 909 (2011).
[2] Q. T. Zhao *et al.*, Appl. Phys. Lett. **86**, 062108 (2005). [3] H. G. Grimmeiss *et al.*, Phys. Rev. B **37**, 6916 (1988).
[4] S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd ed. (Wiley-Interscience, New York, 1981).
[5] J. Chan *et al.*, Appl. Phys. Lett. **99**, 012114 (2011). [6] Y. Tong *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **33**, 773 (2012).

© 2013 年　応用物理学会