β-$FeSi_2$/Si 変調ドーピング構造の作製と電気特性評価

Fabrication of β-$FeSi_2$/Si modulation-doped heterostructures and their electrical properties

九工大情報工，○山戸一輝，神田秀和，寺井慶和
Kyushu Inst. of Tech., ○K. Yamato, H. Kanda, Y. Terai
E-mail: q232088k@mail.kyutech.jp

【はじめに】 Si/β-$FeSi_2$ ヘテロ界面では，電子親和力の差(0.32 eV[1])により伝導帯にバンド不連続が存在する．このバンド不連続を利用して Si/β-$FeSi_2$ ヘテロ界面における二次元電子ガス(2DEG)の形成が期待されるが，これまでに Si/β-$FeSi_2$ 変調ドーピング構造の作製報告例はない．そこで我々は，Si/β-$FeSi_2$ 変調ドーピング構造での 2DEG 形成を最終目標としている．この変調ドーピング構造では，ドナーである Sb を変調ドープした Si 層を電子供給層に用いるが，Si 中の Sb は成長表面へ偏析することが報告されている[2]．そのため，成長中の Sb 原子の動的移動を把握して，変調ドーピング構造を作製する必要がある．本研究では，β-$FeSi_2$ と電子供給層である Si の積層順を変化させた 2 種類の β-$FeSi_2$/Si 変調ドーピング構造を作製し，その電気特性評価から Sb 偏析効果が 2DEG 形成におよぼす影響を検証したので報告する．

【実験方法】 テンプレート法を用いた MBE 法により，FZ *n*-Si(111)基板 ($\rho \geq 1$ kΩ)上に基板温度(T_s) T_s = 550 ºC で undoped β-$FeSi_2$ 層(100 nm)を堆積後，T_s = 500 ºC で Si spacer 層(10 nm)，Sb-doped Si 層(10 nm)，Si 層(50 nm)の順に堆積させた．この Si/Sb-doped Si/Si spacer/β-$FeSi_2$/Si sub.変調ドーピング構造を type Iと定義する．次に type IIとして，Si と β-$FeSi_2$ の積層順を逆にした β-$FeSi_2$/Si spacer/Sb-doped Si/Si/Si sub.構造を作製した．成長時の Sb k-cell 温度は 350 ºC（Sb 濃度：3×10^{20} cm^{-3}）に固定した．成長後，Al オーミック電極を作製し，van der Pauw 法によるホール効果測定で電気特性を評価した．

【結果】 Fig. 1 に type I, II試料および無添加 β-$FeSi_2$ 薄膜における(a) 電子密度 n，(b) 移動度 μ の温度依存性を示す．室温における電子密度に着目すると，type I試料と β-$FeSi_2$ 薄膜は同程度の値を示した．一方，type II試料では Sb 添加量は同じであるにも関わらず，type I試料より一桁以上電子密度が増加した．移動度の温度依存性では，type Iおよび薄膜の移動度は低温側で急激に低下している．これは β-$FeSi_2$ に特徴的な振る舞いで，バンド伝導から局在伝導への変化に由来する．それに対し，type II試料の移動度は温度低下に伴い増加し，局在伝導への変化は観測されなかった．以上の結果より，type I と type II試料の電気伝導では，電子の伝導パスが異なることが明らかとなった．type I構造では Si 層が表面側にあるため，成長中の Sb 表面偏析により Sb がヘテロ界面から離れるように移動する．その結果，ヘテロ界面への電子供給が行われず，抵抗が低い β-$FeSi_2$ 層で主な電気伝導が生じていると考えられる．それに対し，type II構造では β-$FeSi_2$ 層が表面側にあるため，Sb 表面偏析により Sb がヘテロ界面に近づくように移動する．その結果，ヘテロ界面への電子供給が達成され，ヘテロ界面での界面伝導が顕著になったと考えられる．しかし，現状の type II 試料の移動度は低く，高移動度の 2DEG は形成されていない．その原因の一つとして，Sb 表面偏析により Si spacer 層(10 nm)に Sb が拡散するため，Sb^+イオンとヘテロ界面との空間分離が不十分となることがあげられる．よって，イオン化ポテンシャルの影響を強く受けた界面伝導であるため，移動度が低いと考えられる．今後は type II構造で Si spacer 層厚を増加させ，イオン化ポテンシャルの影響を抑制することで高移動度の発現を目指す．

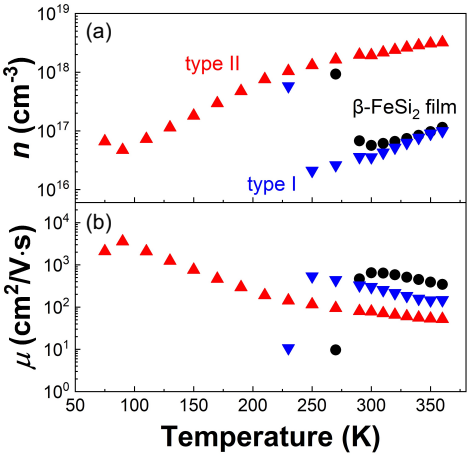

Fig. 1 Temperature dependence of (a) n, (b) μ in type I, type II and β-$FeSi_2$ film.

[1] K. Okajima, Ching-ju WEN, M. Ihara, I. Sakata and K. yamada, Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 781 (1999).
[2] D. V. Yurasov *et al.*, J. Appl. Phys. **109**, 113533 (2011).

© 2021年 応用物理学会