β-FeSi₂/Si ナノ混合相の酸化プロセスの拡散解析

Diffusion Analysis of Oxidation Process in β -FeSi₂/Si Nanocomposite

九工大院情報工¹,量研機構量子ビーム²⁰有馬 幹尋¹,淵 雅也¹,

鳴海 一雅², 前田 佳均^{1,2*}

Kyutech¹, QST-QuBS², ^oM. Arima¹, M. Fuchi¹, K. Narumi², Y. Maeda^{1,2*}

*E-mail: maeda@cse.kyutech.ac.jp

【はじめに】 β -FeSiz/Si (β /Si) ナノ混合相は,優れた低温発光特性を示すが、 β /Siヘテロ接合構造の バンド接合では価電子帯バンドオフセットは室温付近では非常に小さくなり、熱励起に対して β 井戸 層に正孔の閉じ込めは不十分になり、電子との再結合発光効率は極端に減少し、室温発光の顕著な温 度消光の原因となる. 我々は、この β /Siナノ混合相の致命的欠点を克服すべく、室温でも電子・正孔 閉じ込めが十分期待できる β /SiO2ナノ混合相を考案し、Siの選択酸化を利用して β /Siから β /SiO2ナノ 混合相が直接作製できることを示した[1]. さらに β /SiO2からは250K付近まで発光が観察できることを 示した[2]. また、酸化挙動を元素深さ分布から検討し、シリコンの酸化プロセスと類似していること を明らかにした[3].本研究では、 β /Siナノ混合相の酸化過程について元素の拡散流を検討した.

【実験方法】試料は、Si基板への200keV-⁵⁶Fe⁺イオン注入と800℃アニールからなるイオンビーム合成 法によって作製した. 900℃に保たれたマッフル電気炉内で空気を循環させて酸化した. ラザフォー ド後方散乱分光法(後方散乱角165°, 2MeV-⁴He⁺イオン)を用いて、ランダムスペクトルを測定し、 SINMRA®[4]を用いた層状解析から元素の深さ分布を求め、MultiDiFlux[5]の解析コードを用いて、元 素の拡散流速、保野 - ボルツマン界面の時間変化を求めた.

【結果】Fig.1に酸化時間2~8h試料の酸素とシリコンの拡散流束の分布を示す.正値は試料表面から 深部に向かう流束である.負値はその逆である.この解析結果では,酸素が正流束,シリコンが負流 束であることが分かった.とくに酸化初期(2~4h)ではシリコンの表面への拡散束が支配的であるこ とが明らかになった.これは、シリコン基板の酸素拡散律速と大きく異なっている.つまり酸素の供 給がある表面近傍にシリコンが拡散して、SiO₂が成長することが分かった.酸素とシリコンの拡散バラ ンスで決まる俣野 - ボルツマン界面(M-B界面)の時間変化をFig.2に示す.M-B界面の進行は酸素とシリ コンいずれも正の方向に進行している.その時間則は*d*_{M-B}(Si)=t^{0.43}>*d*_{M-B}(O)=t^{0.33}となり一致しなかった. これは、酸化層の酸素がSiO₂よりも欠乏した状態になっていることを示す.これは、試料内部に形成 されたβ-FeSi₂が酸素の拡散を阻止する効果[6]が働いているためと考えられる.

【参考文献】[1]K. Morita et al.: JJAP Conf. Proc. **3**, 011105 (2015). [2] T. Nakamura et al.: JJAP Conf. Proc. **3**, 011106 (2015) [3]前田ら: 2015 年秋季応用物理学会講演会 16a-2R-4 [4] Matej Mayer: http://www2.if.usp.br/~lamfi/guia-simnra.pdf [5]http://www.ctcms.nist.gov/~cecamp/spring04/Presentation%20at%203rd%20NIST%20workshop%20on%20Diffusion.pdf [6] H. Reuther and M. Dobler: Appl. Phys. Lett. **69** (1996) 3176.



Fig.1 Diffusion fluxes of Si and O as the oxidation time at 900°C in circulating dry air increased. The plus sign means diffusion from the surface toward the deep composite and the minus one means a contrary diffusion direction. The Matano-Boltzmann interfaces are indicated for each Si and O diffusion flux.



Fig. 2 Matano-Boltzmann (M-B) interfaces for Si and O atomic fluxes computed from diffusion fluxes shown in Fig.1 (a)-(d). The difference in the M-B interface was ~25 nm which may be associated by difference in their amount of diffusion fluxes.