

氏 名 (本籍)	こづかまさや (埼玉県)
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 6035 号
学位授与年月日	平成 24 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科
学 位 論 文 題 目	Application of atom probe to microstructure analysis of thin film materials (アトムプローブ法の薄膜材料解析への応用)

主	査	筑波大学教授	Ph.D.	宝 野 和 博
副	査	筑波大学教授	工学博士	重 川 秀 実
副	査	筑波大学教授	理学博士	黒 田 眞 司
副	査	筑波大学教授	博士 (工学)	三 谷 誠 司

論 文 の 内 容 の 要 旨

This thesis deals with the development of a laser-assisted three-dimensional atom probe technique and its applications to the nanoscale analyses of thin film materials. Although the 3D atom probe technique has been acknowledged as an ultimate compositional analysis technique that is capable of obtaining 3D atom tomography in materials, its applications have been limited for only electrically conductive materials. In this thesis, we report the development of ultra-fast laser assisted wide angle tomographic atom probe and its applications to various thin film materials mainly for spintronics. To analyze thin films deposited on insulator substrates such as thermally oxidized Si and MgO, a new specimens preparation method using the focused ion beam lift-out technique have been developed. To field evaporate metallic and oxide thin films on insulator substrates, we irradiated ultraviolet (UV) femtosecond laser on tip apex. Through this study, we found that atom probe analyses of metallic or semiconductor thin films is possible even if they are deposited on insulating substrate using ultraviolet laser, 2) the mass resolution and signal to noise ratio are degraded if the substrate thickness on the tungsten support is made too short by focused ion beam milling ($< \sim 0.6 \mu\text{m}$), 3) UV ($\lambda=343 \text{ nm}$) laser effectively assists the field evaporation of thin films on insulating substrates compared to green ($\lambda=515 \text{ nm}$) laser, 4) the yield of successful analyses of thin film is not affected by the electric resistance of the analyzed specimen but strongly depend on the difference in the evaporation fields of multi-layer films. Major atom probe results are: 1) uniform distribution Mn of (Ga,Mn)As and Ta of (Ti,Ta)O₂ diluted magnetic semiconductor, 2) nm-thick Cr-condensed regions in I-doped (Zn,Cr)Te, 3) Cu-rich nm-sized pseudo-one-dimensional structure in Cu-Ni thin films with a giant Peltier effect, 4) uniform distribution of B in Ta cap layer and the absence of B in CoFeB electrodes layer in an optimal annealed CoFeB/MgO/CoFeB pseudo-spin-valve magnetic tunnel junction, 5) the absence of magnetic elements in the Ag spacer layer of high temperature ($\sim 500^\circ\text{C}$) annealed current-perpendicular-to-plane giant magnetic resistance device using Co₂MnSi and Co₂Fe(Ge,Ga) Heusler alloys. These results demonstrate the high potential of UV laser atom probe as a nanoanalysis technique for thin film materials.

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は従来のアトムプローブでは困難であった絶縁体平坦基板上に成膜された磁性薄膜を紫外光レーザー補助 3 次元アトムプローブを用いて解析する手法を確立した手法と結果を報告している。アトムプローブ分析用針状試料に異なる波長と強度の超短パルスレーザーを照射し、金属磁性薄膜、磁性半導体薄膜、トンネル磁気抵抗素子、巨大磁気抵抗素子のレーザーアトムプローブ分析を行い、これらの 3 次元原子トモグラフィを取得した。収束イオンビーム法による薄膜や多層膜からの試料作製法の確立し、絶縁体基板上の薄膜であっても紫外光レーザーを用いることによりアトムプローブ分析が可能なことを示した。具体的な応用例としては、(Ga,Mn) As 磁性半導体、Ta ドープ TiO 磁性半導体、Cu-Ni 巨大ペルチェ素子、CoFeB/MgO/CoFeB トンネル磁気抵抗素子、Co₂MnSi/Ag/Co₂MnSi, Co₂Fe(Ge,Ga)/Ag/Co₂Fe(Ge,Ga) 面直電流巨大磁気抵抗素子であり、それらの結果はアトムプローブ解析技術の応用例として新規性があるのみならず、これらの素子解析から磁気・伝導特性と素子構造の因果関係を解明した点で、極めて学術的価値の高い論文と判断される。

平成 24 年 2 月 16 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。