

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Sputterparameter auf das epitaktische Schichtwachstum 100Å dicker Eisenschichten auf GaAs(001)- und MgO(001)-Substraten untersucht. Ein aus den Ergebnissen abgeleiteter, optimaler Parametersatz ermöglicht es, antiferromagnetisch koppelnde Eisen/Silizium/Eisen-Dreilagenschichtsysteme herzustellen.

Die magnetischen und strukturellen Eigenschaften der Eisenfilme wurden durch Kerrmagnetometrie (MOKE), ferromagnetische Resonanz (FMR), Rasterkraftmikroskopie (RKM) und Röntgenkleinwinkelbeugung (XRR) bestimmt. Es zeigte sich, dass auf MgO besseres epitaktisches Wachstum als auf GaAs möglich ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass MgO und Fe –im Gegensatz zu Fe/GaAs– an der Grenzfläche nicht durchmischen. Die aus den winkelabhängigen FMR-Messungen ermittelten Kristallanisotropiekonstante K_1 und Sättigungsmagnetisierung M_S^{eff} der auf MgO deponierten Schichten erreichen fast die Werte von Volumeneisen. Bei den auf GaAs deponierten Eisenschichten hängen K_1 und M_S^{eff} stark von den Sputterparametern ab und sind meist deutlich reduziert.

Epitaktisches Wachstum wurde ab einer Substrattemperatur von 40°C gefunden. Argonionen, die vom Target auf das Substrat reflektiert werden, unterstützen das Wachstum im Sinne einer effektiven Temperaturerhöhung. Die Oberflächenmobilität der adsorbierten Eisenatome wird dadurch erhöht und das epitaktische Wachstum positiv beeinflusst.

Weiterhin wurde epitaktisches Wachstum auch auf unbehandelten, oxidierten Substraten erzielt. Winkelabhängige FMR-Messungen zeigen fast ausschließlich eine vierzählige Kristallanisotropie. Die in der Literatur beschriebene uniaxiale Anisotropie, die auf eine Verbindung von Fe mit GaAs zurückgeführt wird, fehlt hier fast vollständig. Um das epitaktische Wachstum auf nicht-kristallinem Oxid zu erklären, wird eine löchrige Oxidschicht postuliert. Mobile Eisenatome, die diese Löcher erreichen, können die Kristallstruktur des GaAs übernehmen und dienen als Kondensationskeime für epitaktisches Wachstum. Die hohe Energie der deponierten Partikel bei Sputterprozessen ist für das epitaktische Wachstum auf dem Oxid notwendig, wie gescheiterte Depositionsversuche auf unbehandelten Substraten durch Molekularstrahlepitaxie zeigen.

Schließlich wurden epitaktisch gesputterte Fe/Si/Fe-Dreilagenschichtsysteme auf beiden Substrattypen deponiert, und die Kopplungsstärke J der antiferromagnetischen Zwischenschicht-Austauschkopplung aus MOKE-Messungen ermittelt. J liegt dabei für Si-Schichtdicken von 11 bis 15Å bei etwa 1 mJ/m², was ein Indiz für eine gute Schichtqualität ist. Dass die Kopplungsstärke hier nicht so hoch ist wie bei MBE-deponierten Schichten, liegt an einer starken Durchmischung an den Fe/Si-Grenzflächen, wie auch aus XRR-Messungen hervorgeht. Entsprechend gelang es durch geeignete Sputterparameter die Grenzflächeninterdiffusion zu verringern, wodurch sich die Kopplungsstärke auf 2 mJ/m² verdoppelte. Diese Resultate zeigen, dass die Herstellung von stark gekoppelten Fe/Si/Fe Schichtungen von der MBE auf das Ionenstrahl-Sputterverfahren als eine anwendungsnahe Depositionsmethode transferiert werden kann.

Abstract

The influence of sputtering parameters on the epitaxial growth of 100 Å thick iron layers on GaAs(001) and MgO(001) is investigated. Using the optimized growth parameters, it was possible to observe antiferromagnetic interlayer exchange coupling in epitaxial sputtered Fe/Si/Fe-trilayers.

The magnetic and structural properties were determined using Kerr magnetometry (MOKE), ferromagnetic resonance (FMR), atomic force microscopy (AFM), and small angle X-ray diffraction (XRR). The growth of Fe on MgO leads to a higher epitaxial quality compared to GaAs substrates, where interface intermixing occurs. FMR measurements yield bulk-like values of the crystal anisotropy constant K_1 and the saturation magnetization M_S^{eff} for Fe-films on MgO. In the case of Fe-films on GaAs, sputtering parameters have a strong influence on K_1 and M_S^{eff} , and lower values are obtained in most cases.

The minimum substrate temperature needed to achieve epitaxial growth is 40°C. Reflected Argon ions hitting the substrate support the epitaxial growth by means of an increased effective substrate temperature. The resulting higher surface mobility of the adsorbed Fe-atoms promotes epitaxy.

Furthermore, epitaxial growth on oxidized substrates was achieved. FMR measurements reveal only a fourfold crystal anisotropy. The uniaxial surface anisotropy reported in literature for Fe grown on clean GaAs(001) is strongly suppressed. In order to explain the epitaxial growth on the non-crystalline oxide surface, holes in the oxide are assumed. Mobile Fe-atoms reaching these holes adopt the crystallographic orientation of the GaAs substrate and serve as seeds for epitaxial growth. The high energy of sputtered particles is essential to achieve epitaxy, as evidenced by failed attempts to epitaxially grow Fe on oxidized substrates by molecular beam epitaxy.

Finally, epitaxial Fe/Si/Fe-trilayers are deposited on both types of substrates. The coupling strength J of the antiferromagnetic interlayer exchange coupling is derived from MOKE measurements. For Si thicknesses of 11 to 15 Å, J is about 1 mJ/m² indicating the high quality of the deposited structures. The lower value of J compared to MBE-deposited trilayers is related to strong intermixing at the Fe/Si interfaces, as confirmed in XRR measurements. Therefore, reducing the interface interdiffusion by choosing ideal parameters, the coupling strength can be doubled to 2 mJ/m². These results demonstrate, that the preparation of strongly coupled Fe/Si/Fe structures can be transferred from MBE to ion beam sputtering representing a deposition method preferably used in industry.