

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДЛОЖКИ GaAs (100) НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК Fe

Высоцкий С.Л., Джумалиев А.С., Кац М.Л., Торгашев И.Г.,
Филимонов Ю.А., Цыплин А.Ю., Яфаров Р.К.

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН

Магнитные свойства тонких эпитаксиальных металлических пленок и многослойных структур на их основе, выращенных на полупроводниковых подложках, активно исследуются как в связи с возможностью широкого практического использования таких структур [1], так и их важностью в исследованиях фундаментальных проблем магнетизма [2]. При этом, одной из активно решаемых задач в настоящее время является исследование влияния шероховатости границ на магнитные свойства пленки [3-5]. Для исследования магнитных свойств пленок Fe часто в качестве подложки применяется GaAs различных кристаллографических ориентаций [2,6-11].

Цель данной работы - исследование методом ферромагнитного резонанса (ФМР) магнитных свойств пленок Fe, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на шероховатых подложках GaAs (100) с различной среднеквадратичной амплитудой шероховатости σ . При этом основное внимание обращалось на различие полей кубической H_c и одноосной H_u анизотропии пленок близких толщин, полученных на подложках с разной величиной σ . Подложки имели амплитуду шероховатости R_z и характеризовались среднеквадратичными значениями амплитуды шероховатости $\sigma \approx 10\text{Å}$ и 30Å .

Для получения пленок Fe использовался электронный спектрометр ЭС~2301. Температура подложки была близка к комнатной. Время напыления составляло 3...14 мин, что соответствовало толщинам пленок Fe 30...140 Å.

Использовались два типа подложек GaAs (100), характеризующихся различной величиной среднеквадратичной амплитуды шероховатости поверхности: $\sigma_1 \approx 30\text{Å}$ (I тип) и $\sigma_2 \approx 10\text{Å}$ (II тип). Величина шероховатости контролировалась с помощью атомно-силового микроскопа в двух произвольно выбранных точках подложек, которые имели размеры $2 \times 3 \text{ mm}^2$. Среднеквадратичное значение амплитуды шероховатости σ рассчитывалось аналогично [12].

На рис.1 показан рельеф поверхности подложек первого и второго типов. Можно видеть, что амплитуда шероховатости R_z подложки первого типа составляет $R_z \leq 200\text{Å}$, тогда как для подложки II типа - $R_z \leq 50\text{Å}$.

Полученные пленки исследовались методом ФМР на частоте 9,8 ГГц при комнатной температуре. Образцы располагались в прямоугольном резонаторе таким образом, что магнитное поле H было касательно поверхности и составляло угол θ с осью [100]. При этом регистрировалась зависимость величины резонансного поля H_p от угла θ . Точность отсчета угла θ составляла $2-3^\circ$.

Оказалось, что для пленок Fe, выращенных на подложках разных типов, характеристики $H_p = H_p(\theta)$ ведут себя неодинаково. Так, для подложек I типа пленки толщиной 30 Å и 140 Å демонстрировали только по одной линии резонансного поглощения, которую следует связать с основной модой ФМР.

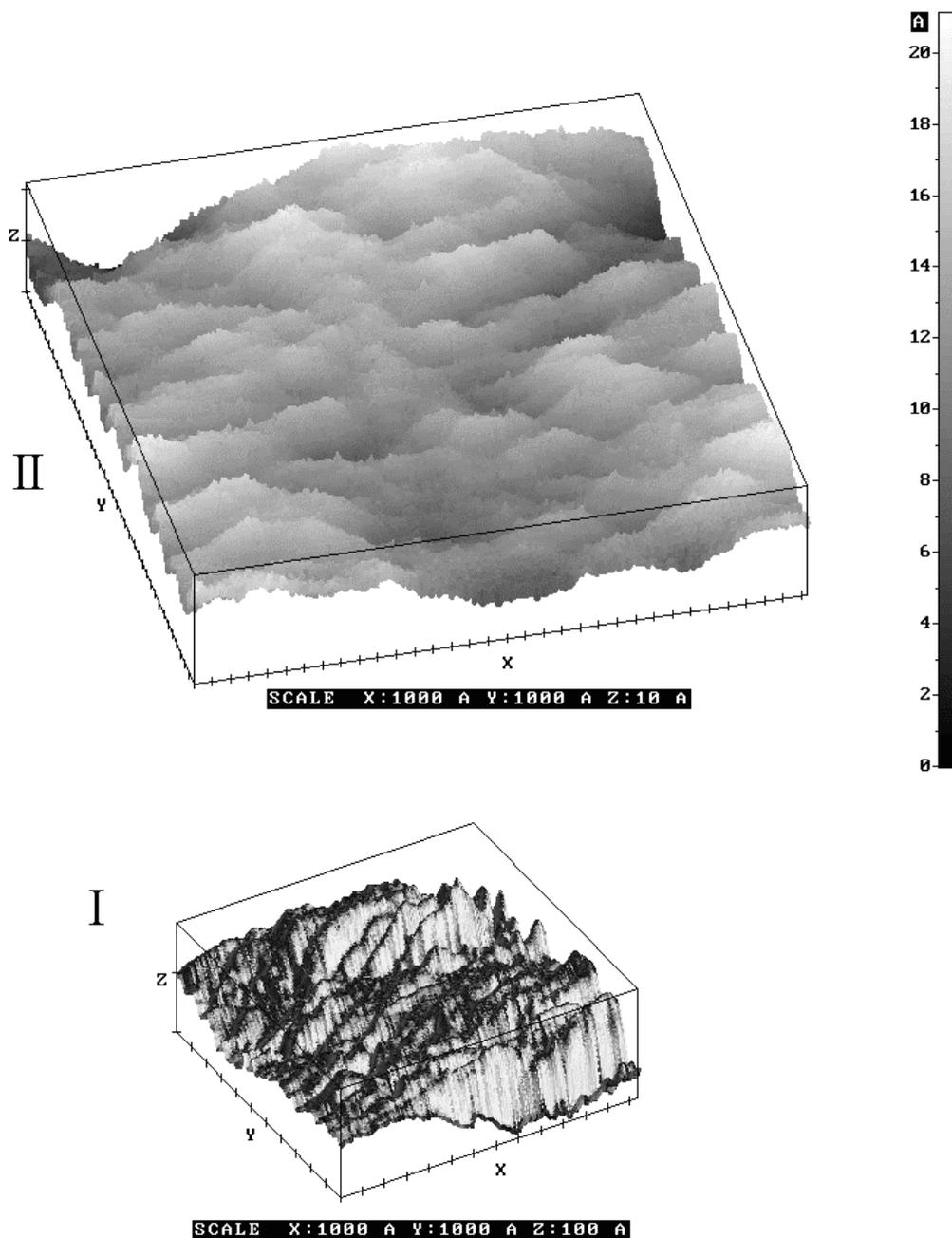


Рис.1. Вид поверхностей подложек первого и второго типов.

При этом пленка толщиной 30 Å являлась изотропной ($H_p(\theta) = \text{const}$), тогда как для пленки толщиной 140 Å зависимость $H_p = H_p(\theta)$ указывала на наличие кубической анизотропии. Для пленок Fe промежуточных толщин (70 Å и 100 Å) в спектре ФМР наблюдалось по две линии поглощения, для которых характер зависимости $H_p = H_p(\theta)$ был различным и отвечал либо изотропному случаю, ли-

бо случаю кубически анизотропной пленки с плоскостной одноосной анизотропией. Отметим, что в известной нам литературе факт сосуществования двух фаз не описан.

Для пленок Fe, выращенных на подложках II типа, наблюдалось существенно иное поведение кривых поглощения и зависимостей $H_p = H_p(\theta)$ с изменением толщины. Во-первых, не удалось выделить интервал толщин, в котором наблюдается сосуществование изотропной и анизотропной фаз. Кроме того, для пленок, имеющих значения толщин около 30 Å, наблюдается либо изотропная, либо анизотропная фаза. Для пленок толщиной более 50 Å характер зависимости $H_p = H_p(\theta)$ отвечает кубически анизотропному случаю.

Отметим, что величины параметров исследованных пленок Fe (намагниченность, величины констант анизотропии) и их зависимость от толщины в целом соответствуют приводимым в работах [2,6-11] для эпитаксиальных пленок Fe на подложках GaAs (100) и (110). При этом наблюдается заметное отличие в проявлении анизотропных свойств пленок близких толщин, но выращенных на подложках с различной степенью шероховатости: в пленках толщиной 50...100 Å, полученных на подложках типа I, наблюдается сосуществование изотропной и анизотропной фаз, тогда как для пленок, полученных на подложках типа II, начиная с толщин 50 Å, наблюдается только анизотропная фаза.

Объяснение факта появления двух линий поглощения в спектре ФМР пленок на наш взгляд, заключается в состоянии поверхности подложки и связанной с этим неоднородности текстуры пленки, проявляющейся в сосуществовании изотропной и монокристаллической фазы. На это также может указывать изменение соотношения амплитуд изотропного и анизотропного откликов.

Из сопоставления характера шероховатости подложек и толщины напыляемых пленок с видом зависимостей $H_p = H_p(\theta)$ видно, что между текстурой пленок заданной толщины t и шероховатостью подложки имеется непосредственная связь, а именно: при значениях $t \leq \sigma$ пленка обладает кубической анизотропией; в интервале толщин $\sigma \leq t \leq 3\sigma$ в пленке присутствуют как изотропная, так и анизотропная фазы; при $t \geq 3\sigma$ пленка обладает кубической анизотропией.

Работа поддержана грантом РФФИ No 97-02-18614 и грантом 97 -3.16 по Государственной программе "Актуальные направления физики конденсированных сред", направление "Поверхностные атомные структуры".

Литература.

1. G.A.Prinz//Science 250, 1092 (1990)
2. Hans J. Nag, B. Stiefel, A. Moser et.al.// J.Appl.Phys., 79(8), 1996, P.5609 - 5614.
3. Y.-L. He and G.-C. Wang// J.Appl.Phys., 76(10), 1994, P.6446 - 6448.
4. J.F.Cochran, W.B.Muir, J.M.Rudd et. al.//J.Appl.Phys., 69(8), 1991, 5206 - 5208
5. De-Hua Han, Jian-Gang Zhu, Jack H.Judy// J.Appl.Phys., 81(1), 1997, P.340 - 343.
6. G.A.Prinz, J.J.Krebs.// Appl.Phys.Letters, 39(5), 1981, P.397 - 399.
7. F.J.Rachford, G.A.Prinz, J.J.Krebs et.al.// J.Appl.Phys., 53(11), 1982, P.7966 - 7968.
8. E.Gu, J.A.C.Bland, C.Daboo et.al.// J.Appl.Phys., 76(10), 1994, P.6440 - 6442.
9. J.J.Krebs, F.J.Rachford, P.Lubitz et.al.// J.Appl.Phys., 53(11), 1982, P.8058 - 8060.
10. F.J.Rachford, G.A.Prinz, J.J.Krebs et.al.// J.Appl.Phys., 53(3), 1982, P.2087 - 2091.
11. J.J.Krebs, B.T.Jonker, and G.A.Prinz// J.Appl.Phys., 61(7), 1987, P.2596 - 2599.
12. Chin Y. Poon and B. Bhushan// JAP, 79(8), 1996, P.5799 - 5801.