

Краткие сообщения

06;11

Влияние обработки поверхности подложки MgO на структурно-чувствительные характеристики эпитаксиальных пленок (на примере пленок железа)

© Е.М. Артемьев, А.С. Комалов

Сибирский федеральный университет,
660074 Красноярск, Россия
e-mail: aem49@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 7 ноября 2007 г. В окончательной редакции 21 апреля 2008 г.)

Разработана технология тонких монокристаллических слоев MgO методом химических транспортных реакций на поверхность кристалла MgO. Качество нанесенного подслоя проверялось на структурно-чувствительных характеристиках эпитаксиальных пленок железа.

PACS: 68.35.-p

Создание магнитных пленок с совершенной кристаллической структурой является актуальной задачей как для современной микроэлектроники, так и для физики магнитопленочного состояния вещества. Одним из наиболее перспективных путей обработки технологии изготовления монокристаллических пленок с заданными параметрами является установление четкой корреляции между процессами роста и магнитными свойствами пленок. Одним из главных источников дефектов в пленке является подложка. Ступени скола, дислокации и другие несовершенства подложки создают в пленке различные дефекты. В связи с этим большое значение для получения совершенных эпитаксиальных пленок имеет правильный выбор материала подложки и тщательная обработка ее поверхности.

В настоящей работе была поставлена задача изучить влияние качества поверхности подложки на ширину линии ферромагнитного резонанса (ФМР) (ΔH) и коэрцитивную силу (H_c) эпитаксиальных пленок Fe. В качестве подложки служили кристаллы MgO, на которые осаждали пленки железа. Состояние поверхности подложек проверялось методом угольных реплик на электронном микроскопе, качество пленок оценивалось по линии (ΔH) и их коэрцитивной силе. Подложки в виде пластин с плоскостью (100) выкальвались из монокристалла MgO. Далее подложки подвергались следующей обработке:

1. Проводилась химическая полировка в ортофосфорной кислоте (H_3PO_4). Известно, что при такой обработке происходит сглаживание ступеней скола. Полировка проводилась при различных режимах (длительность полировки, температура и плотность травителя). Методом электронной микроскопии было выявлено, что наиболее гладкая поверхность подложек получается при обработке их в течение 2–3 min при температуре травителя $150^\circ C$ и плотности 1.46 g/cm^3 . Отклонение от этого

режима приводило либо к растравливанию поверхности и образованию глубоких ступеней и ямок, либо к их недостаточному сглаживанию.

2. На поверхность свежего и химически полированного скола наносился эпитаксиальный слой MgO. В работе [1] показано, что нанесение слоя MgO на поверхность кристалла MgO уменьшает количество дислокаций на поверхности слоя на два порядка. Также при этом происходит зарастание ступеней скола. Эпитаксиальный слой на поверхности кристалла MgO выращивался из порошка MgO методом химических транспортных реакций в малом диффузионном зазоре (0.7–0.8 mm) при температуре подложек $1200^\circ C$ и градиенте $100\text{--}150^\circ C$. В качестве газа-переносчика использовался хлористый водород с давлением 1–3 mm Hg при общем давлении в камере 10–15 mm Hg. При таких условиях на поверхности MgO вырастали гладкие, зеркальные слои. Толщина слоев определяется временем осаждения и составляла обычно около $0.5 \mu m$. При больших значениях толщины слоя происходило разрастание некоторых граней и ухудшалась зеркальность поверхности, а с уменьшением толщины не все грани зарастали. На свежесколотых и обработанных вышеописанными способами подложках MgO одновременно выращивались монокристаллические пленки железа методом химических транспортных реакций или вакуумной конденсации.

При вакуумной конденсации пленки получали в камере с вакуумом $2 \cdot 10^{-6} \text{ mm Hg}$ распылением из вольфрамовых тиглей на нагретые до $200^\circ C$ подложки. Рост пленок методом химического транспорта проводился в обезвоженной прогретой камере в вакууме 10^{-5} mm Hg . Исходное железо в виде полосы толщиной 0.2–0.3 mm нагревалось до $1000^\circ C$ пропусканием по нему переменного тока. Температура подложек устанавливалась $850\text{--}900^\circ C$. Определенное количество газа-носителя (HCl) непрерывно подавалось в камеру

через дозирующее устройство, и его давление в камере поддерживалось постоянным во время роста пленок. Толщина пленок железа составляла обычно 2000 Å. На полученных таким образом пленках были измерены ΔH ФМР (ширина линии ферромагнитного резонанса) и H_c (коэрцитивная сила).

Для исследования различных характеристик тонких магнитных пленок железа, в том числе и ширины линии ФМР, использовался радиоспектрометр, позволяющий измерять резонансное поглощение как при параллельной, так и при перпендикулярной ориентации пленки относительно внешнего статического магнитного поля на частоте 9100 МГц. Пленку железа помещали в полый резонатор. Пленка должна находиться в пучности магнитной составляющей СВЧ-поля h и быть параллельной h . Резонатор располагался между полюсами электромагнита таким образом, чтобы постоянное магнитное поле было перпендикулярно h и намагничивало пленку либо вдоль ее поверхности, либо нормально поверхности. Резонатор с помещенной в него пленкой настраивался в резонанс с колебаниями СВЧ-генератора.

При плавном изменении статического магнитного поля добивались выполнения условий резонанса. При этом благодаря резонансному поглощению пленкой мощности СВЧ-колебаний ухудшалась добротность резонатора и одновременно, из-за дисперсии действительной части комплексной восприимчивости, сдвигалась собственная частота резонатора, т.е. происходила его расстройка. Эти эффекты и фиксировала установка. В данном случае измерялось суммарное изменение добротности, вызванное как поглощением, так и дисперсией [2,3]. Однако влияние дисперсии легко исключалось с помощью блока автоматической настройки частоты генератора на резонансную частоту измерительного резонатора. Коэрцитивная сила измерялась на петлескопе.

Наименьшая ширина линии ФМР (ΔH) получена на пленках Fe, выращенных на подслое MgO, и равна 40–45 Ое, на химически полированных подложках ΔH всегда больше (60–80 Ое), а на свежем сколе MgO ΔH составляет 100–300 Ое.

Следует заметить, что в отличие от вакуумного напыления методом химических транспортных реакций удалось регулярно получать пленки с такими значениями ΔH . Коэрцитивная сила пленок (H_c) имела значение от 1 до 81 Ое. Не было замечено четкой корреляции между значениями H_c и ΔH . Пленки с малыми значениями H_c могли иметь большую ΔH , и наоборот. Это можно объяснить тем, что H_c более чувствительно к различного рода напряжениям и макронеоднородностям, а ΔH чувствительна к микронеоднородностям. Отжиг пленок в вакууме 10^{-5} mm Hg при 850°C в течение 10 h с последующим медленным охлаждением уменьшает ΔH незначительно (не более 5–6 Ое).

Проведенные исследования позволяют заключить, что, применяя специальную обработку поверхности кристалла MgO, приводящую к улучшению качества поверх-

ности, и используя подложки с малым количеством дефектов кристаллического строения, можно получить методом химических транспортных реакций пленки ферромагнитных материалов с совершенной кристаллической структурой.

Список литературы

- [1] Gruber P.E. // J. Cryst. Growth. 1973. Vol. 18. N 1. P. 94.
- [2] Покамиллов В.С., Пузей И.М. // ЖЭТФ. 1972. Т. 63. С. 205.
- [3] Toshio Maeda, Hiroshi Yamauchi, Hiroshi Watanabe // J. Phys. Soc. Jpn. 1973. Vol. 35. P. 1635.