

05;11;12

## Магнитоактивность пленок пермаллоя, выращенных в зоне рекомбинационного горения низкотемпературной плазмы

© В.А. Александров, А.Г. Веселов

Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовский филиал,  
410019 Саратов, Россия  
e-mail: AlexandrovVA@gmail.com

(Поступило в Редакцию 20 июня 2007 г.)

Исследована зависимость магнитных свойств пленок пермаллоя от интенсивности бомбардировки подложки при синтезе пленки в области рекомбинационного горения плазмы тлеющего разряда. Обнаружена однозначная связь свойств пленок от интенсивности рекомбинационного горения. Изменение формы области рекомбинации позволили найти оптимальные условия синтеза пленок толщиной 30–60 nm при неоднородности магнитных свойств порядка 1% на холодных подложках, площадь которых сравнима с размерами зоны эрозии мишени.

PACS: 68.55.-a, 78.66.-w

### Введение

Выращивание тонкопленочных структур, реализующих прямое аналоговое преобразование информации, является актуальной задачей функциональной электроники. В связи с менее строгими требованиями к структурному совершенству получаемых пленок (сравнительно с цифровой электроникой) существует множество методов их получения. Особый интерес для синтеза тонких пленок представляют плазменные методы получения в силу многообразия факторов, в ряде случаев положительно влияющих на синтез. Более того, во многих работах [1–4] указывается на различные возможности управления такими факторами, что позволяет изменять свойства получаемых образцов в широких пределах.

В ранних работах влияние бомбардировки компонентами плазмы на выращиваемые структуры считалось разупорядочивающим или деструктивным [5]. Подложка, как правило, располагалась вне зоны рекомбинационного горения, а для активации процессов формирования структуры использовался подогрев подложек. Подавляющее большинство промышленных распылительных систем и в настоящий момент конструируются исходя из этой предпосылки.

Однако в последнее время был поставлен ряд работ по выращиванию тонкопленочных структур в зоне рекомбинационного горения плазмы [3,4] без дополнительного подогрева подложек. Особо следует отметить работы, упомянутые в литературном обзоре [1]. Приведенные в них данные свидетельствуют о положительном влиянии определенного уровня бомбардировки выращиваемой пленки на адгезию и плотность пленки при определенных условиях напыления. В работе [2] отмечена возможность синтеза различных аллотропных фаз углерода при изменении энергии бомбардирующих частиц.

Целью данной работы является изучение влияния на магнитную упорядоченность пленки пермаллоя интенсивности бомбардировки в процессе роста компонентами плазмы.

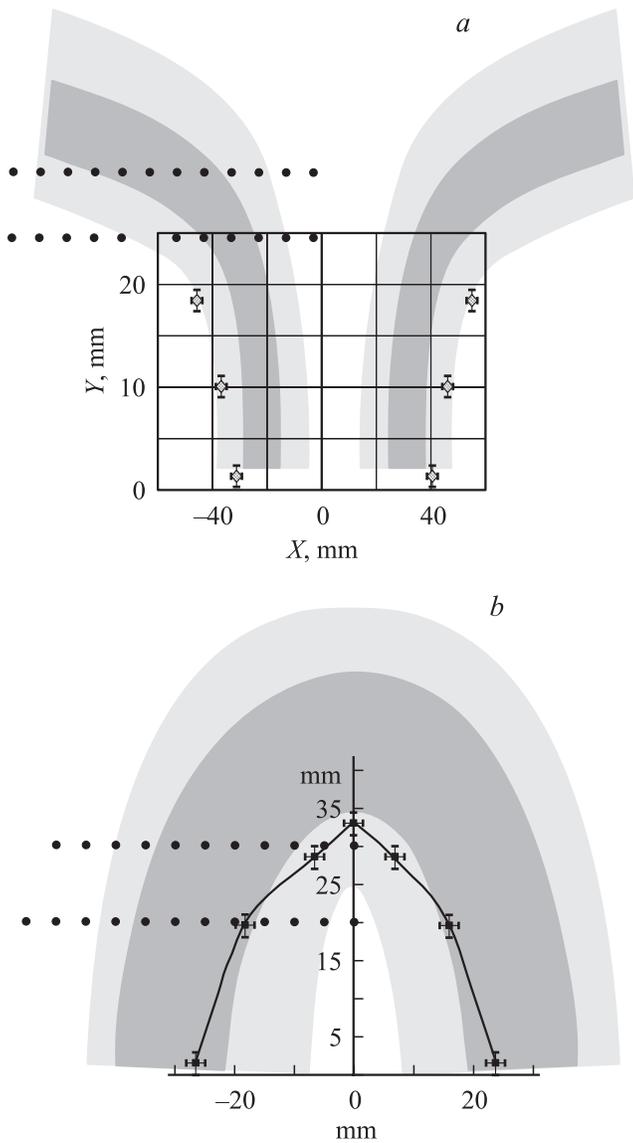
### Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Исследуемые пленки синтезировались в зоне рекомбинации низкотемпературной плазмы (в атмосфере аргона) магнетронной распылительной системы на постоянном токе. Этот метод представляет практическую ценность из-за относительной простоты управления плотностью потока ионов, а также соотношением ионизированных и нейтральных атомов.

Нами использовались две магнитные системы с различной конфигурацией магнитных полей: факельная (факельный магнетрон, сильный центральный магнит) и тороидальная (тороидальный магнетрон, сильный внешний магнит). Распределение магнитных полей обеих магнитных систем было измерено с помощью измерителя магнитной индукции Ш1-8, причем измерялась нормальная компонента напряженности магнитного поля.

На рис. 1 изображены точки равенства нулю нормальной компоненты („нулевая линия“). Тангенциальная составляющая в этих точках максимальна, а следовательно, и вероятность ионизации атомов электронами тоже максимальна, что обуславливает наибольшую плотность ионов в этой области. Измерение нормальной компоненты обусловлено большей точностью измерений близких к нулю величин.

Подложкодержатель с закрепленным на нем набором подложек располагался в области рекомбинационного горения плазмы. Так как использованные магнитные системы имели аксиально-симметричные распределения магнитных полей, он устанавливался радиально, параллельно мишени на различной высоте в разных сериях экспериментов (см. рис. 1). В результате интенсивность рекомбинационного горения плазмы вблизи каждой из подложек была различной. Было напылено несколько серий пленок на разных высотах в факельном и тороидальном магнетронах. Кроме того, для факельного магнетрона была произведена серия напылений



**Рис. 1.** Схематическое изображение сечения магнетронных распылительных систем факельного (*a*) и тороидального (*b*) типов. Серым показаны зоны рекомбинационного горения плазмы. Точками обозначено положение подложек, крестиками — точки „нулевых линий“.

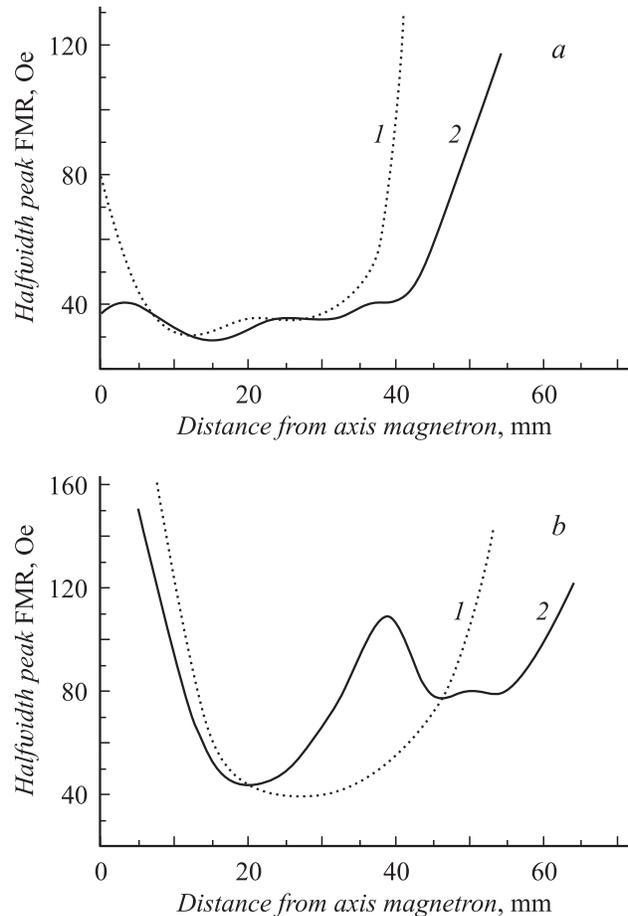
при различных токах распыления, подложки при этом каждый раз помещались в одни и те же точки зоны рекомбинационного горения плазмы.

За меру магнитоактивности получаемых пленок была выбрана полуширина пика ферромагнитного резонанса (полуширина ФМР). На рис. 2 представлена зависимость полуширины ФМР от геометрического положения подложек в камере, а на рис. 3 — от тока распыления, протекающего через магнетронную систему.

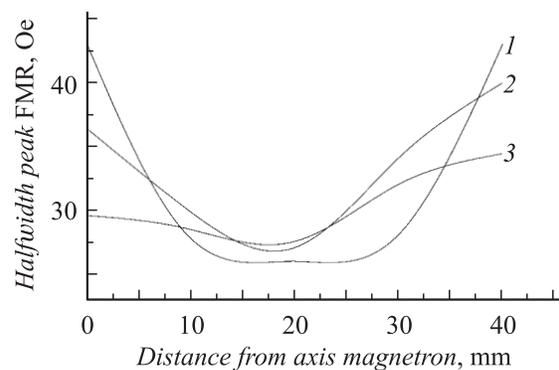
Кроме того, параллельно производилось исследование однородности свойств получаемых пленок, для чего на высоте 4 см над центром мишени располагалась кремниевая подложка размером  $2 \times 2$  см, производилось напыление, а затем разрезалась и измерялась полуширина

ФМР каждого фрагмента. Диаметр зоны эрозии мишени составлял 45 мм; неоднородность по полуширине ФМР полученной пленки не превысила 1%.

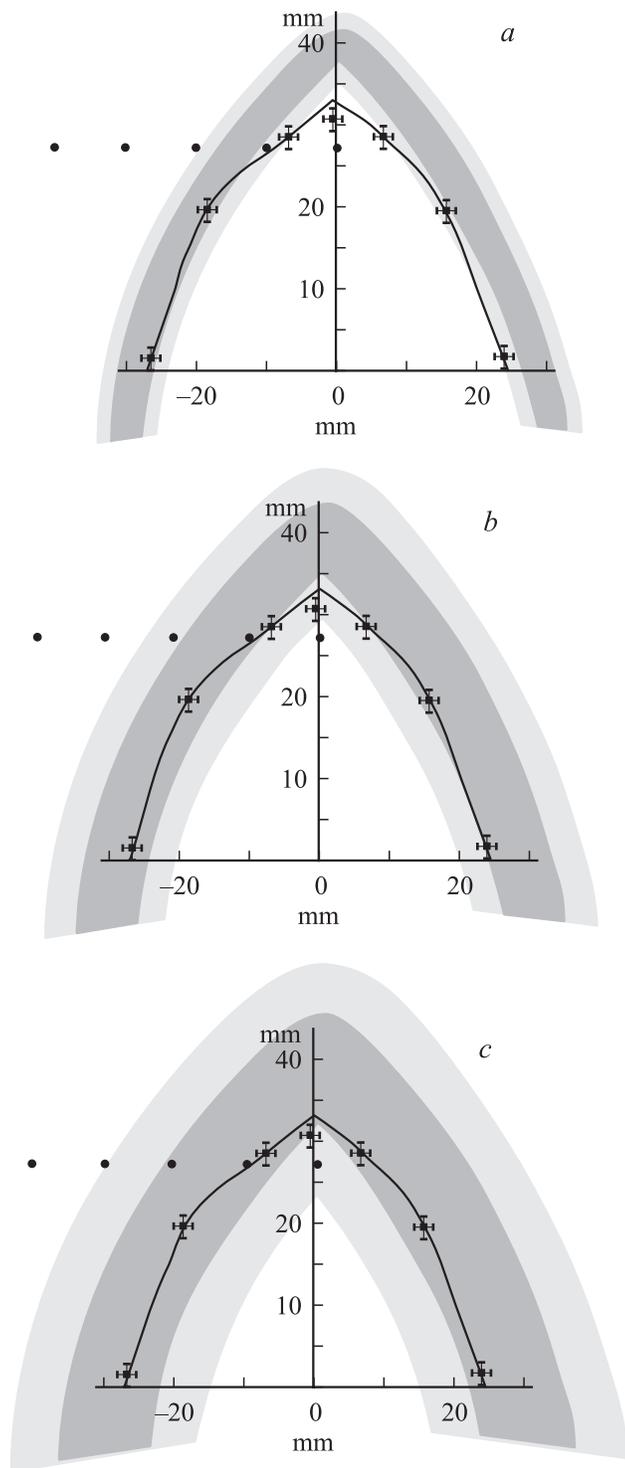
Полученные результаты позволяют делать вывод, что в условиях бомбардировки изменяются не только механические свойства выращиваемых пленок (как утверждалось в обзоре [1]), но и структурная упорядоченность.



**Рис. 2.** Зависимости полуширины пика ЯМР вдоль радиуса мишени на высоте: (*a*) *a* — 20, 2 — 30; (*b*) 1 — 26, 2 — 36 мм. *a* — факельный. *b* — тороидальный магнетрон.



**Рис. 3.** Зависимость полуширины пика ФМР вдоль радиуса мишени на указанных высотах от расстояния с изменением тока распыления: 1 — 60, 2 — 100, 3 — 150 мА.



**Рис. 4.** Изменение размеров области рекомбинационного горения плазмы при возрастании тока. Точками обозначено положение подложек.

Пленки пермаллоя, выращенные в зоне рекомбинационного горения плазмы, обладают лучшими магнитными свойствами, что следует из сопоставления рис. 1, 2 и визуально наблюдаемой формы области рекомбинационного горения плазмы. С возрастанием тока рас-

пыления увеличивается пространственная однородность получаемых пленок (по полуширине ФМР) и размер области с малой полушириной ФМР (рис. 3). С другой стороны, минимальное значение полуширины ФМР увеличивается, что свидетельствует о существовании оптимального значения интенсивности бомбардировки. Улучшение пространственной однородности пленок может быть объяснено тем, что с ростом тока распыления область рекомбинационного горения плазмы расширяется, захватывая таким образом большее число подложек. Сопоставление рис. 3 и 4 иллюстрирует вышесказанное.

Необходимо заметить, что бомбардировка различными компонентами плазмы, безусловно, не охватывает весь комплекс явлений, сопровождающих процесс роста пленки в таких условиях, однако, как показывает ряд других источников [1], является наиболее вероятным активирующим фактором.

## Заключение

Авторы не ставили своей целью достижение предельных значений, однако полуширина ФМР получаемых пленок пермаллоя составляла от 30 Ое (в найденных областях) и более. На практике возможно использование пленок с полушириной ФМР менее 40 Ое.

Следует отметить стабильность получаемых результатов при условии постоянства перечисленных параметров (ток распыления, давление, геометрическое положение подложек).

Определены оптимальные условия синтеза в зоне рекомбинационного горения, определяющие высокую магнитную активность получаемых пленок. Уменьшение полуширины пика ФМР свидетельствует об изменении структуры получаемой пленки пермаллоя под влиянием плазмы в сторону большей упорядоченности. Впервые на холодных подложках получены магнитоактивные пленки пермаллоя толщиной 30–60 nm и полушириной ФМО от 30 Ое. Неоднородность ферромагнитных свойств пленки не превышала 1% при площади подложки  $2 \times 2$  см.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-07-89341.

## Список литературы

- [1] *Helmerson U., Lattemann M., Bohlmark J., Ehiasarian A.P., Gudmundsson J.T.* // *Thin Solid Films*. 2006. Vol. 513. P. 1–24.
- [2] *Grigoryev E.V., Savenko V.N., Sheglov D.V., Matveev A.V., Cherepanov V.A., Zolkin A.S., Kolesov B.A.* // *CARBON*. 1998. Vol. 36. P. 581–585.
- [3] *Бурьлин Е.И., Веселов А.Г., Веселов А.А. и др.* // *Письма в ЖТФ*. 2000. Т. 26. Вып. 7. С. 31–34.
- [4] *Бурьлин Е.И., Веселов А.Г., Джумалиев А.С. и др.* // *ЖТФ*. 2007. Т. 77. Вып. 5. С. 130–132.
- [5] *Данилин Б.С., Сырчин В.К.* *Магнетронные распылительные системы*. М.: Радио и связь, 1982. 72 с.