

кластеры в узком диапазоне масс. На рис. 3 показана зависимость величины точки взвешивания от  $\delta$  на рабочей линии  $k = 8$ .

Кластеры с массами, не попадающими в диапазон взвешивания, фиксируются на электродах: легкие — на верхнем, тяжелые — на нижнем электроде, смещаясь под действием переменного поля на края электродов, откуда происходит их удаление.

Для кластеров, состоящих из 10–100 атомов Fe или Ni, требуются следующие значения напряжений, обеспечивающие устойчивое взвешивание при расстоянии между электродами на оси симметрии 0.05 м: а) постоянное напряжение  $U_0 =$  от 200 до 1 кВ, б) переменное напряжение  $U_1 =$  от 2 до 10 кВ, в) частота переменного напряжения  $\omega = 100$  кГц.

Используя регулирование амплитуд постоянного и переменного напряжения можно плавно менять наклон рабочей линии, что позволяет выбрать нужный диапазон удерживаемых масс.

### Список литературы

- [1] Шерепов Э.П., Зенкин В.А. // ПТЭ. 1971. № 1. С. 166–168.
- [2] Найфэ А.Х. Введение в методы возмущений. Пер. с англ. М.: Мир, 1984.
- [3] Хайрер Э., Нерсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Пер. с англ. М.: Мир, 1990.
- [4] Гурин Н.И., Скоморозов А.Г. Аналитические вычисления в системе REDUCE. Справочное пособие. Минск: Наука и техника, 1989.
- [5] Дубровский А.С., Кузьмин С.В. и др. // Тез. и докл. Всесоюз. конф. Аналитические преобразования на ЭВМ в автоматизации научно-исследовательских работ. Вильнюс, 1990.

06;12  
© 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 11, 1994

## ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ХОЛЛА НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК InSb

А.Г.Веселов, С.Л.Рябушкин, И.Я.Шуллер

Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовский филиал,  
410019, Саратов, Россия  
(Поступило в Редакцию 19 декабря 1993 г.)

Сочетание высокой подвижности в пленках InSb толщиной 0.05–0.1 мкм с достаточно большим поверхностным сопротивлением (несколько килоом на квадрат) делает их практически незаменимыми в ряде применений (усилители, детекторы, конвольверы ПАВ, датчики Холла). Для датчиков Холла применение этих пленок означает резкое увеличение чувствительности вплоть до 1200 В/А·Т. В работе мы предлагаем определенные изменения температуры подложки в момент напыления, позволяющие стабилизировать характеристики пленок и реализовать высокие параметры датчиков. Пленки получались в системе магнетронного распыления на постоянном токе в атмосфере аргона с последующей переплавкой в вакууме под тонким защитным слоем SiO [1].

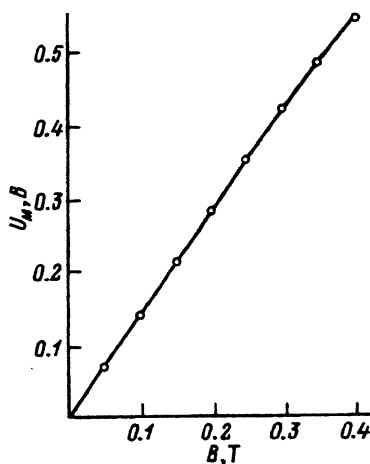
Переход к толщинам 0.05–0.1 мкм при сохранении достаточно высокого уровня подвижности — порядка нескольких тысяч  $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$  влечет за собой усложнение технологии получения пленок. Исходные пленки на неориентирующих подложках, как правило, обладают низкой подвижностью носителей и требуют рекристаллизации. В свою очередь процесс плавления пленки и последующая рекристаллизация происходят с нарушением стехиометрии за счет реиспарения Sb и частичной глобуляции пленки. Нестабильность плавления особенно проявляется при толщинах пленок, указанных выше.

Хорошо известно, что результаты термической обработки пленок в значительной степени зависят от условий их получения. Так, в ряде работ предлагается тщательно подбирать температуру подложки в момент напыления для получения стехиометричных пленок. Однако такой подход не избавляет от недостатков: чрезвычайная критичность к температуре подложки, сравнительно малый размер зерен и, как следствие, низкая подвижность (не более 2–3 тыс  $\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ ), реиспарение или глобулирование в момент плавления.

Совершенно иные результаты достигаются в том случае, если напыление исходной пленки происходит при двух температурных режимах подложки в момент напыления, что, как будет показано далее, обеспечивает стабилизацию процесса плавления и основных характеристик пленок после плавления.

Остановимся на элементах технологии получения тонких пленок InSb с изменением температуры подложки в момент напыления. Электронно-микроскопические исследования показали, что при температуре подложки 300°C нет выраженной зернистой структуры, при температуре 350°C поликристаллическая пленка состоит из отдельных зерен с размером порядка 0.2 мкм. При увеличении температуры до 420°C размер зерна увеличивается до 0.8 мкм, но нарушается стехиометрия пленки из-за реиспарения сурьмы.

Предлагаемый двухтемпературный режим напыления позволяет снять критичность к температуре подложки и получить пленки с укрупненным размером зерна. В [1] показано, что основной механизм рассеяния носителей носит барьерный характер и, следовательно, вместе с размером зерна растет и холловская подвижность. Одновременно



улучшается адгезия к подложке. Пленки плавятся без глобулирования и реиспарения.

Технология получения пленок состоит из нескольких этапов. Первый этап включает напыление на предварительно защищенную монокисью кремния подложку "подслоя" из сурьмянистого индия толщиной не более  $500 \text{ \AA}$  при температуре  $450\text{--}480^\circ\text{C}$ . На втором этапе после охлаждения подложки с подслоем до  $300\text{--}350^\circ\text{C}$  напыляется основной стехиометричный слой нужной толщины, имеющий укрупненный размер зерна до  $0.5 \text{ мкм}$ . Затем структура сверху закрывается слоем монокиси кремния, испаряемой термически, и переплавляется под этим защитным слоем в той же камере. Стабильность процесса плавления, достигнутая за счет осаждения пленки на "ориентирующий" слой и увеличения адгезии пленки к подложке, в конечном итоге обеспечивает высокую воспроизводимость электрофизических свойств. При толщине порядка  $0.1 \text{ мкм}$  поликристаллические пленки имеют холловскую подвижность носителей  $5\text{--}6 \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ .

Экспериментально наблюдалось, что температура напыления второго слоя в определенных пределах влияет на значение сопротивления пленки. Уровень подвижности основных носителей при этом сохраняется.

На основе таких пленок были изготовлены высокочувствительные датчики Холла на неориентирующих подложках.

Магниточувствительность элементов Холла составляет  $500\text{--}1200 \text{ В}/\text{А}\cdot\text{Т}$  при питающем токе  $2\text{--}3 \text{ мА}$  и потребляемой мощности  $30\text{--}40 \text{ мВт}$ . Для сравнения укажем, что магниточувствительность датчиков из германия и кремния лежит в пределах  $9\text{--}90 \text{ В}/\text{А}\cdot\text{Т}$ , датчиков на эпитаксиальных пленках арсенида галлия —  $100\text{--}200 \text{ В}/\text{А}\cdot\text{Т}$  [2]. В работе [3] более толстые пленки  $\text{InSb}$ , полученные методом термического испарения в вакууме, имеют магнитную чувствительность  $25\text{--}90 \text{ В}/\text{А}\cdot\text{Т}$ . В этой же работе показана связь стехиометрии пленки с линейностью передаточной характеристики.

Использованный нами способ магнетронного распыления в сочетании с описанным термическим режимом подложки позволяет получать пленки  $\text{InSb}$  с отклонением от стехиометрии не более  $1 \%$ , что обеспечивает достаточную линейность передаточной характеристики.

На рисунке представлена зависимость напряжения Холла от величины магнитного поля для датчика на основе переплавленной пленки  $\text{InSb}$ . В интервале магнитных полей  $0\text{--}0.4 \text{ Тл}$  нелинейность составляет  $2.5 \%$ , магниточувствительность  $560 \text{ В}/\text{А}\cdot\text{Т}$  при питающем токе  $2.5 \text{ мА}$ .

Применение высокочувствительных холловских элементов с малым энергопотреблением на базе тонких пленок  $\text{InSb}$  позволит существенно улучшить возможности техники измерения магнитных полей.

#### Список литературы

- [1] Веселов А.Г., Гайворонский А.Г., Петросян В.И. и др. // Микроэлектроника. 1989. Т. 18. № 4. С. 325–328.
- [2] Вукулин И.М., Вукулина Л.Ф., Стафеев В.И. Гальваномагнитные приборы. М.: Радио и связь. 1983. 104 с.
- [3] Shosan Iida. // J. Appl. Phys. 1989. Vol. 65. N 5. P. 1977–1981.