

# ОЦЕНКА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ПЛЕНКА-ПОДЛОЖКА В ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ С ПОМОЩЬЮ ГАЛЬВАНМАГНИТОРЕКОМБИНАЦИОННОГО ЭФФЕКТА

Я.Ю. ГУСЕЙНОВ

Бакинский Государственный Университет  
370148, Баку, ул. акад. З. Халилова, 23

Описано применение гальваномагниторекомбинационного эффекта для оценки скорости поверхностной рекомбинации на границе раздела пленок гетероэпитаксиальной структуры. Из экспериментальных измерений вычислены скорости поверхностных рекомбинаций для образцов с различными концентрациями глубоких ловушек на границе раздела.

В [1] были описаны интегральные гальваномагниторекомбинационные (ГМР) элементы на основе локально выращенных пленок моно- и поликристаллического кремния, в которых роль боковой поверхности с высокой скоростью рекомбинации играла граница раздела между ними, а боковой гранью с малой скоростью поверхностной рекомбинации являлся р-п-переход.

Как известно, ГМР эффект заключается в изменении сопротивления полупроводникового материала в магнитном поле из-за различной скорости поверхностной рекомбинации носителей заряда на противоположных боковых гранях элемента [2].

С помощью ГМР эффекта можно изучать поверхностные свойства полупроводников, в частности такой важный параметр для интегральных схем и функциональных элементов, как скорость поверхностной рекомбинации  $S$  на границе раздела двух пленок.

Например, от состояния границы раздела пленки и подложки в гетероструктурах зависит подвижность носителей заряда, а, следовательно, и чувствительность датчиков Холла [3]. Кроме того, ГМР эффект может быть использован в тестовых кристаллах при изготовлении ИС с диэлектрической изоляцией для оценки качества монокристаллических "карманов" вблизи диэлектрической прослойки, что имеет важное прикладное значение.

Согласно [2], экспериментально измерив чувствительность ГМР элемента, можно определить скорость поверхностной рекомбинации на границе раздела двух пленок по формуле:

$$\frac{\Delta\sigma_B}{\sigma_0} = - \frac{q\mu_n(1+b)^2 n_0 p_0 L_D^2 E_x B_z \theta}{(n_0 + p_0)(n_0 + bp_0) kTd} \quad (1)$$

где

$$\theta = \frac{1 - L_{s0} / L_{sd}}{\left( \operatorname{cth} \frac{d}{2L_D} + \frac{L_D}{L_{sd}} \right) \left( \operatorname{cth} \frac{d}{2L_D} + \frac{L_{s0}}{L_D} \right) - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{L_{s0}}{L_{sd}} \right) \operatorname{csc} h \frac{d}{2L_D}} \quad (2)$$

$L_D$  - длина биполярной диффузии, равная  $\sqrt{D\tau}$ ,  $L_{s0}$  и  $L_{sd}$  - длины диффузионных пробегов носителей в направлении соответствующих граней

$$L_{s0} = \frac{D}{S_0} \quad , \quad L_{sd} = \frac{D}{S_d} \quad (3)$$

$b$  - отношение подвижностей носителей разных знаков в полупроводнике. Величина  $\Delta\sigma_B/\sigma_0$  - обращается в нуль при  $S_d=S_0$  и принимает максимальное значение при  $d=1, 4L_D$  и  $S_d/S_0 \rightarrow \infty$  т.е. когда скорость поверхностной рекомбинации на одной поверхности элемента во много раз больше, чем на другой. Здесь  $d$  - ширина образца, а  $S_0$  и  $S_d$  - скорости поверхностной рекомбинации на противоположных гранях образца.

Поскольку решением уравнения (1) является зависимость чувствительности от отношения скоростей поверхностной рекомбинации на противоположных гранях ГМР элемента  $S_d/S_0$ , то, построив теоретические зависимости для различных отношений, можно по экспериментально измеренным значениям  $\Delta\sigma_B/\sigma_0$  определить  $S_d/S_0$ . Если считать, что свободная поверхность элемен-

та обладает малой скоростью поверхностной рекомбинации, то, задавшись её значением, решением уравнения (1) можно вычислить скорость поверхностной рекомбинации  $S_d$  на границе раздела эпитаксиальной пленки и подложки в зависимости от технологических условий изготовления. Эти данные необходимы при проектировании, например, таких приборов, как гетероэпитаксиальные датчики Холла с различной концентрацией глубоких ловушек на границе раздела пленка-подложка для выбора толщины и удельного сопротивления эпитаксиальной пленки [4].

Использование продольных токовых контактов при поперечной направленности индукции магнитного поля позволяет наблюдать ГМР эффект (рис.1).

Использование в гетеросистемах  $A^3B^5$  изовалентных примесей (таких, как висмут), активно влияющих на зонную структуру многокомпонентных твердых растворов открывает широкие возможности в управлении шириной запрещенной зоны и подвижности носителей с целью варьирования температурного диапазона работы магниточувствительных элементов, или, например, спектрального диапазона оптоэлектронных приборов [5].

Следует отметить, что точное знание скорости поверхностной рекомбинации  $S_0$  не имеет принципиально-

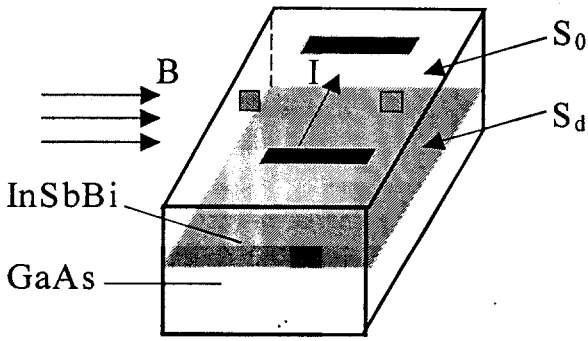


Рис. 1. Конструкция датчика Холла на основе гетероэпитаксиальной структуры  $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$  с  $x = 0,02$ , позволяющая наблюдать ГМР эффект.

го значения, поскольку вычисление отношения  $S_d/S_0$  дает нам информацию об относительной величине скорости поверхностной рекомбинации границы раздела двух материалов, в зависимости от качества обработки и других технологических параметров, что является решающим фактором, влияющим на параметры приборов.

В силу вышеизложенных соображений нами были построены теоретические зависимости чувствительности от отношения скоростей поверхностной рекомбинации на противоположных гранях для различных значений  $S_0$  (рис.2).

Вычисления проводились при следующих исходных данных:  $\mu_n = 6,5 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ,  $b \approx 2,0$ ,  $n = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , напряженность электрического поля  $E = 10^5 \text{ В/м}$ , индукция магнитного поля  $B = 0,06 \text{ Тл}$ , ширина образца  $d = 22 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , длина диффузионного пробега  $L_D = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ .

Экспериментальные измерения чувствительности ГМР элементов проводились для образцов с концентрацией глубоких ловушек в диапазоне  $N_t = (2 \div 9) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  для двух значений толщины пленки  $t = 4 \text{ мкм}$  и  $7 \text{ мкм}$ .

Как видно из рис.2, наибольшей чувствительностью обладают ГМР элементы толщиной  $4 \text{ мкм}$  и концентрацией глубоких ловушек  $9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , поскольку при такой толщине пленки обедненный  $n$ - $v$ -переход подложка-пленка распространяется на всю толщину пленки, и соз-

даются условия для максимальной чувствительности. Минимальной чувствительностью обладали образцы с большей толщиной пленки ( $7 \text{ мкм}$ ) и меньшей концентрацией глубоких ловушек ( $N_t = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ).

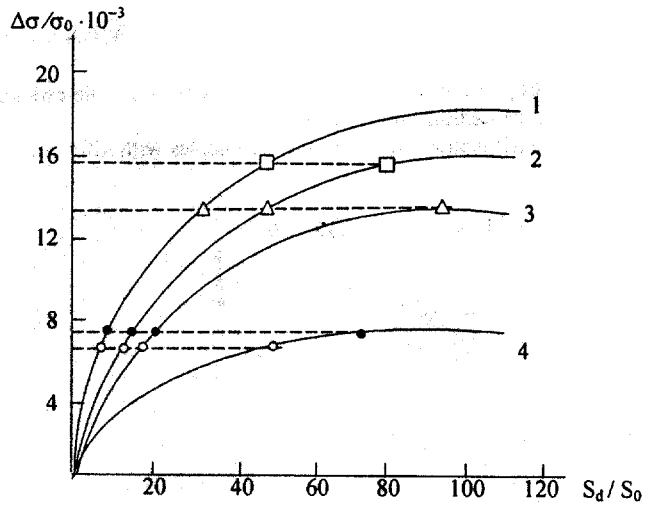


Рис. 2. Теоретические зависимости относительной чувствительности ГМР элемента от отношения скоростей поверхностной рекомбинации на противоположных гранях элемента с различными параметрами.

- 1 – 4)  $S = 1; 0,5; 0,3; 0,1 \text{ м/с}$
- )  $t = 4 \text{ мкм}, N_t = 9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$
- △)  $t = 4 \text{ мкм}, N_t = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$
- )  $t = 7 \text{ мкм}, N_t = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$
- )  $t = 7 \text{ мкм}, N_t = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$

Откладывая по оси ординат экспериментально измеренные значения чувствительности ГМРП и проводя из этих точек линии, параллельные оси абсцисс, по пересечению с теоретическими кривыми можно определить скорость поверхностной рекомбинации на границе раздела двух полупроводников.

Таким образом, ГМР эффект с одной стороны позволяет разработать на основе гетероструктур магниточувствительные элементы, а, с другой стороны, является инструментом для исследования границы раздела между составляющими её пленками, что можно использовать в производстве интегральных схем для экспресс-контроля технологических процессов.

[1] А.Г. Абдуллаев, Ф.Д. Касимов. Электронная техника, сер.З., Микроэлектроника. 1988, вып.3, с.71-72.  
 [2] И. Левитас, Ю. Пожела, К. Сталерайтис. Преобразователи магнитных величин на основе гальваномагниторекомбинационного эффекта. В кн.: Полупроводниковые преобразователи, Вильнюс, Мокслас, 1980, с.73-139.  
 [3] Ф.Д. Касимов, Я.Ю. Гусейнов, С.Х. Халилов. Датчики Холла на основе висмутосодержащих гетероэпитаксиальных пленок антимонида индия. Труды 6-ой междуна. научно-техн. конф. "Актуальные проблемы

твердотельной электроники и микроэлектроники", Таганрог, 1999, с.74.  
 [4] Я.Ю. Гусейнов, Ф.Д. Касимов, Г.П. Кемерчев. Физика АН Азерб. Республики, 1999, т.5, № 3, с.20-23.  
 [5] А.В. Благин, Н.В. Ермолаева, А.П. Труфманов. О возможном механизме формирования сверхрешеток в многокомпонентных пленках  $A^3B^5$  легированных висмутом, Труды 6-ой международной н.т. конф. "Актуальные проблемы твердотельной электроники и микро-электроники", Таганрог, 1999., с.65.

Y.Y. Hüseyinov

QALVANOMAQNİTOREKOMBİNASYON EFFEKTİNİN KÖMƏYİ İLƏ HETEROEPİTAKSİAL STRUKTURLARDA NAZİK TƏBƏQƏ-ALTLIQ AYIRMA SƏRHƏDDİ KEYFİYYƏTİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Qalvanomaqnitorekombinasyon effektindən iastifadə etməklə müxtəlif yarımqəçirici səthəlrində səthi rekombinasiya sür'ətinin hesablanılmasına baxılmışdır.

Я.Ю. ГУСЕЙНОВ

Müxtəlif konstruktiv-texnoloji parametrlı nümunələr üçün eksperimental ölçmələrdən səthi rekombinasiya sür'əti hesablanmışdır.

Ya.Yu.Guseinov

**ESTIMATION OF THE BOUNDARY SEPARATION BETWEEN THIN FILM-SUBSTRATE IN THE HETEROEPITAXIAL STRUCTURES BY MEANS OF GALVANOMAGNETORECOMBINATION EFFECT**

Using of galvanomagnetorecombination effects for the estimation of speed surface recombination on the boundary separation of heteroepitaxial structure thin films is described.

From experimental measurements of samples with different constructive technology parameters of speed of surface recombination is calculated.

*Дата поступления: 01.11.99*

*Редактор: Ф.М. Гашимзаде*