

ДАТЧИКИ ХОЛЛА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$

Ф.Д. КАСИМОВ

Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство
370106, Баку, пр. Азадлыг, 159

Я.Ю. ГУСЕЙНОВ

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

Исследован эффект Холла в висмутосодержащих эпитаксиальных пленках антимида индия на полуизолирующих подложках арсенида галлия в зависимости от толщины пленок и рассчитана их оптимальная толщина в зависимости от концентрации носителей и глубоких ловушек.

Показано, что замещение 10 % атомов Sb атомами Bi приводит к увеличению верхнего температурного диапазона работы датчиков Холла до 200 °С.

Пленки антимида индия наряду с другими полупроводниковыми соединениями A^3B^5 являются традиционным материалом для изготовления гальваномагнитных приборов [1]. В настоящее время пленки InSb на полуизолирующих подложках получают, как правило, путем их термического напыления и последующего отжига [2]. Применение различных методов рекристаллизации позволило получать практически монокристаллические пленки InSb, в том числе гетероструктуры $n\text{-InSb-i-GaAs}$. Гетероэпитаксиальные структуры с концентрацией электронов $6 \cdot 10^{17}$, полученные напылением слоя InSb на полуизолирующие подложки GaAs с подпиткой источника In-Sb парами сурьмы [3], нашли практическое применение в создании датчиков Холла (ДХ), предназначенных для измерения сильных магнитных полей (до 14 Тл) в температурном диапазоне (4,2÷350)К.

Одним из путей повышения быстродействия и термостабильности магниточувствительных элементов является использование в них висмутосодержащих пленок [4].

С целью увеличения верхнего предела рабочего диапазона температур нами исследовались ДХ, изготовленные на основе пленок $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ со значением $x=0,1$. Образцы ДХ изготавливались на гетероэпитаксиальных структурах, содержащих пленки $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$, напыленные на полуизолирующие арсенидгаллиевые подложки, легированные хромом, выращенные из ограниченного объема раствора в расплаве висмута. Согласно [5], плотность дислокаций в таких пленках на порядок меньше ($\sim 6 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$), чем в структурах, полученных в аналогичных режимах из раствора в расплаве галлия. Это объясняется тем, что дефектообразующим фактором является попадание атома в междоузлие. Эти атомы образуют дислокации несоответствия. Вытеснение таких атомов может быть произведено путем перекристаллизации твердого раствора висмутовой зоной, поскольку атомы Bi обладают наибольшим ковалентным радиусом и малой энергией присоединения [6].

Заданное значение концентрации Bi получалось путем диффузионного насыщения пленки InSb парами висмута при температуре 350 °С в вакуумированных ампулах. После этого пленки подвергались импульсной термообработке некогерентным ИК-излучением на установке ИТО-18М [7]. Термическая обработка проводилась

импульсами длительностью 0,1 мкс при температурах (800-1300 °С) со скоростью нарастания температуры 100°С. С помощью метода металлографии было установлено, что плотность дислокаций была в два раза меньше, чем в работе [5], причем наименьшими значениями обладали образцы, подвергнутые термообработке при температурах, не более 900 °С. С увеличением температур обработки до 1300 °С плотность дислокаций возрастала до $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$, что аналогично результатам, полученным в [8] для кремниевых пластин.

Измерение э.д.с. Холла от величины магнитной индукции для пленок с концентрацией носителей $6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ показало (рис.1), что она сильно зависит от толщины пленки: с уменьшением толщины ниже определенного значения чувствительность ДХ возрастает в значительно меньшей степени, чем это следует из известной формулы:

$$U_x = R \frac{I \cdot B}{d} \quad (1)$$

где I - ток, B - магнитная индукция, R - постоянная Холла, а d - толщина эпитаксиальной пленки.

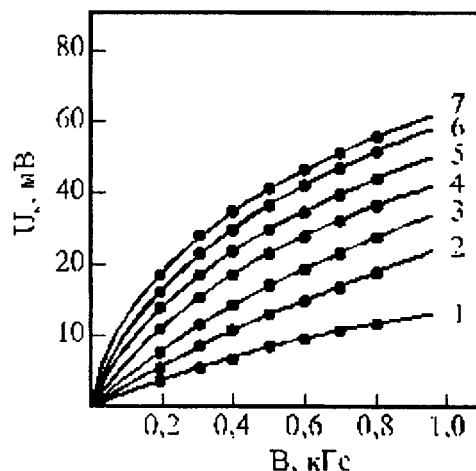


Рис. 1. Зависимость холловского напряжения от магнитной индукции при различных толщинах эпитаксиальной пленки. 1-7) 15; 12; 9; 7; 5; 3; 1,5 мкм.

Это связано с тем, что по мере уменьшения толщины пленки начинает сказываться механизм рассеяния носителей на дефектах границы раздела пленка-подложка. При толщинах $d < 3$ мкм чувствительность резко падала. На рис.2 показаны результаты измерения подвижности носителей μ_n в зависимости от толщины пленки по методике, изложенной в [9].

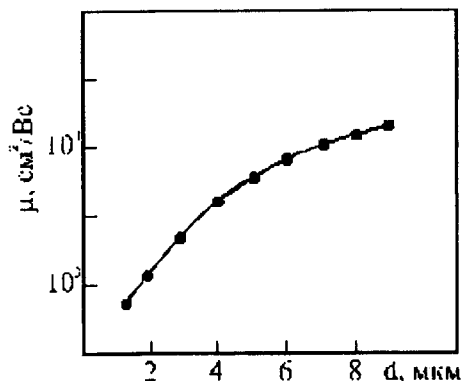


Рис.2. Влияние толщины пленки InSb_{1-x}Bi_x на полуизолирующем арсениде галлия на холловскую подвижность электронов.

Отсюда следует, что для правильного конструирования ДХ важно знать не только электрофизические параметры эпитаксиального слоя, но и оптимальное значение его толщины. Влияние глубоких ловушек на подвижность носителей сказывается таким образом, что реальная проводимость оказывается меньше, чем это следует из заданных значений конструктивных и электрофизических параметров.

При рассмотрении влияния п-в перехода на проводимость пленки обычно используют численные методы, либо выражения, выписанные по аналогии с р-п переходом [10]. Однако, в слое обеднения п-в перехода плотность отрицательного заряда, создаваемого заполненными глубокими центрами захвата, изменяется значительно, в отличие от обычного р-п перехода, в котором заполнение мелкого акцептора постоянно во всей р-области.

В [11] получено аналитическое выражение для толщины п-в перехода между эпитаксиальной пленкой и арсенидгаллиевой полуизолирующей подложкой, содержащей глубокие ловушки с концентрацией N_c :

$$\Delta d = L_D \left[2 \frac{N_t - N_{os}}{N_0 + N_t - N_{os}} \left(\ln \frac{N_0}{n_i} - \frac{N_t}{N_t - N_{cs}} \ln \frac{N_t}{N_{os}} - 1 \right) \right]^2, \quad (2)$$

где L_D - дебаевская длина в пленке, N_0 - концентрация мелких доноров в пленке, а N_{os} - концентрация мелких доноров в подложке.

Рассчитанные по формуле (2) значения толщины п-в перехода в зависимости от N_0 для различных значений концентраций глубоких ловушек приведены в таблице.

Таблица. Толщина п-в перехода при различной концентрации мелких доноров в пленке, Δd , мкм

$N_c \cdot 10^{17}, \text{см}^{-3}$	Концентрация глубоких центров захвата $N_c \cdot 10^{16}, \text{см}^{-3}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,0	1,69	2,757	3,381	3,82	4,155	4,42	4,636	4,816	4,969	5,1
1,5	1,15	1,904	2,364	2,7	2,965	3,181	3,362	3,516	3,65	3,767
2,0	0,8737	1,457	1,822	2,094	2,312	2,493	2,647	2,781	2,898	3,002
2,5	0,7053	1,182	1,484	1,713	1,898	2,054	2,188	2,305	2,409	2,502
3,0	0,5919	0,9951	1,253	1,45	1,611	1,748	1,866	1,97	2,063	2,147
3,5	0,5102	0,8598	1,085	1,259	1,401	1,522	1,628	1,722	1,806	1,882
4,0	0,4486	0,7573	0,9574	1,112	1,24	1,349	1,445	1,53	1,607	1,676
4,5	0,4003	0,6768	0,8569	0,9965	1,112	1,212	1,299	1,377	1,448	1,512
5,0	0,3616	0,612	0,7756	0,903	1,009	1,1	1,181	1,253	1,318	1,377
5,5	0,3298	0,5586	0,7086	0,8257	0,9233	1,008	1,082	1,149	1,21	1,265
6,0	0,3031	0,514	0,6524	0,7608	0,8513	0,9296	0,999	1,061	1,118	1,17
6,5	0,2805	0,476	0,6046	0,7054	0,7898	0,863	0,9279	0,9863	1,04	1,089
7,0	0,2611	0,4433	0,5634	0,6577	0,7367	0,8054	0,8664	0,9214	0,9716	1,018
7,5	0,2442	0,4148	0,5275	0,616	0,6904	0,7551	0,8126	0,8646	0,912	0,9557
8,0	0,2294	0,3898	0,4959	0,5794	0,6496	0,7108	0,7652	0,8144	0,8594	0,9009

Экспериментально измерив σ и μ_n для реальных образцов, можно вычислить Δd по формуле:

$$\sigma = \frac{q\mu_n W N_c}{L} (d - \Delta d), \quad (3)$$

где L, W, d - длина, ширина и толщина пленки соответственно, а μ_n - подвижность электронов.

Определив Δd и оценив по данным таблицы объемную концентрацию глубоких ловушек, можно выбрать оптимальную толщину эпитаксиальной пленки.

Для концентрации носителей в пленке $6 \cdot 10^{17}$ и концентрации глубоких ловушек $N_c = 4 \cdot 10^{16}$, согласно данным таблицы, толщина п-в переходного слоя равна 0,76 мкм. Исходя из требования, чтобы влияние переходного слоя на проводимость эпитаксиальной пленки было не более 10 %, толщина последней была выбрана 7 мкм.

Высокие значения управляющего тока (~200 мА) создают механические напряжения в омических контактах к пленке, которые могут привести к отслаиванию при циклических изменениях температуры. Для устранения этого

явления была применена трехслойная система металлизации: V-Cu-Ni.

На рис.3 приведены результаты измерения холловской подвижности электронов в пленках InSb_{0,9}Bi_{0,1} в зависимости от температуры, из которого видно, что в температурном диапазоне (-200÷+200)°С подвижность сохраняет свое высокое значение и слабо зависит от температуры.

На основе проведенных исследований были разработаны ДХ на основе InSb_{1-x}Bi_x с геометрическими размерами 220×160 мкм² магнитной чувствительностью 500 мВ/Тл и рабочим диапазоном температур (-200÷+200) °С.

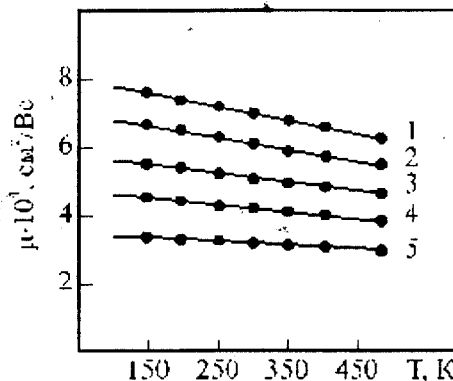


Рис.3. Зависимость холловской подвижности электронов от температуры. 1-5) 15; 12; 9; 7; 5мкм.

[1] В.М. Гусев, К.С. Константинов, В.И. Погодин и др. Приборы и техника эксперимента, 1981, № 5, с. 249.
 [2] Э.И. Болванович. Полупроводниковые пленки и микроминиатюрные измерительные преобразователи, Минск: Наука и техника, 1981, с. 214.
 [3] Г.Я. Портной, О.А. Постных, В.И. Тихонов. В кн.: Синтез и рост совершенных кристаллов и пленок полупроводников, Новосибирск: Наука, Сибирское Отделение, 1981, с. 127-132.
 [4] В.В. Рандошкин, В.В. Ефремов, Е.В. Шушурова. Письма в ЖТФ, 1993, т. 19, вып.2, с. 43-46.
 [5] А.А. Котлевский, М.Д. Лубяная, И.Е. Марончук. Тезисы докладов 12-й Всероссийской научной конференции по микроэлектронике, Тбилиси, 1987, ч. 7, с. 9-10.

[6] В.А. Овчинников, А.В. Благин, Д.Л. Алфимова. Труды 5-й НТК с международным участием «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники», Таганрог, 1998, с.50.
 [7] А.М. Светличный, Д.А. Сеченов, В.В. Поляков. Электронная промышленность, 1991, № 3, с.6-7.
 [8] О.А. Агеев, А.Ш. Мехтиеv, Н.М. Мурадов. Физика, 1999, т. 5, № 1, с. 40-43.
 [9] Ф.Д.Касимов, Е.В.Кучис, Х.А.Асадов и др. Литовский Физический сборник, 1990, т.30, №1, с.67-71.
 [10] J. Honge, G. Pearson. J. Appl. Phys. 1978, v. 49, № 6, p. 3348-3352.
 [11] Я.Ю. Гусейнов, Ф.Д. Касимов, Г.П. Кемерчев. Физика АН АР, 1999, №3 (в печати).

F.C. Qasimov, Ya.Yu. Hüseyinov

n-InSb_{1-x}Bi_x-i-GaAs HETEROSTRUKTURLARIN ƏSASINDA HOLL VERİCİLƏRİ

Yarı izolə olunmuş qallium arsen altlıqları üzərində tərkibində bismut olan InSb epitaksial təbəqələrində təbəqələrin qalınlığından asılı olaraq Holl effekti tədqiq olunmuşdur. Yük daşıyıcıların və dərin tələlərin konsentrasiyasından asılı olaraq optimal qalınlıq hesablanmışdır.

Göstərilmişdir ki, Sb atomlarının 10%-nin bismutla əvəz olunması Holl vericilərinin yuxarı işçi temperaturunu 200° C-dək artırmağa gətirib çıxarır.

F.D.Kasimov, Ya.Yu.Guseinov

HALL DEVICES ON THE BASE OF n-InSb_{1-x}Bi_x-i-GaAs HETEROSTRUCTURES

The Hall effect in the epitaxial films InSb on the semiisolating GaAs substrated as function of hickness films was investigated and its optimal thickness at the sertain concentration of free carrier and deep levels are defined.

It was shown, that 10 % dopant level of atoms bismuth increases the high temperature boundary of Hall devices up to +200 °C.