

Электрофизические свойства полупроводниковых структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ и $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs/Te}$

Шилагарди Г.^{1*}, Ярмолевич В.А.^{2**}, Прокошин В.И.³, Төмөрбаатар Д.⁴, Цооху Х.⁵,
Эрдэнэбаатар.Д¹, Хандма.Ц¹

¹Монгольский Национальный Университет, Школа физики и электроники, Кафедра общей физики

² Республика Беларусь, Белорусский государственный университет,

³ Республика Беларусь, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований,

⁴Монгольский Национальный Университет, Школа биологии, Кафедра биофизики,

⁵Монгольский Национальный Университет, Школа физики и электроники, Кафедра теоретической физики

*Э-почта: gshilagardi@yahoo.com

**Э-почта: mail.ru@vgs-05

I. ВВЕДЕНИЕ

Гетероструктуры $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ приемлемого качества были получены более 30 лет назад японскими исследователями J.L. Zilko, J.E. Greene в работах [1,2]. При этом использовался метод эпитаксиального выращивания пленок в установке молекулярной эпитаксии в условиях бомбардировки низкоэнергетическими ионами висмута.

Нами был реализован метод получения тонких монокристаллических слоев твердых растворов InSb-InBi [3] и InSb-InBi/Te [4] на полуизолирующем арсениде галлия, который не требовал использования уникальной и дорогостоящей аппаратуры, такой как, установка молекулярной эпитаксии.

Гетероэпитаксиальные структуры $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированные теллуrom, обладают высокой временной и температурной стабильностью. Они перспективны для изготовления первичных миниатюрных магниточувствительных преобразователей Холла с улучшенными характеристиками [5].

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

В настоящей работе проведены электрофизические исследования процессов переноса заряда в условиях комплексного воздействия магнитных и температурных полей в гетероструктурах $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ при ($0 \leq x \leq 0.013$), в том числе гетероструктурах легированных теллуrom до концентраций $n=(0,7 \cdot 10^{18} - 9 \cdot 10^{18})\text{см}^{-3}$. Изучены температурные зависимости коэффициента Холла, электросопротивления и дифференциальной термо-эдс в указанных полупроводниковых гетероструктурах.

Процессы электропереноса заряда в гетероэпитаксиальных структурах узкозонных полупроводников имеют ряд особенностей, которые и были установлены. На рис.1 приведены температурные зависимости коэффициента Холла R_x . При низких температурах коэффициент Холла практически постоянен для легированных теллуrom образцов, а его незначительное изменение с ростом температуры обуславливается вкладом собственных носителей заряда (линия 6). С ростом уровня легирования концентрация носителей заряда постоянна во всей температурной области (линии 7 и 8).

Температурные зависимости коэффициента Холла для образцов, содержащих висмут, имеют более сложный характер чем для InSb . Уже при $x=0,2$ ат.% Bi проявляется тенденция к росту модуля коэффициента Холла с повышением температуры, а с увеличением концентрации висмута она становится более выраженной. Вероятней всего, что это связано с донорным характером примесных атомов висмута при их расположении в междоузлиях. Повышение температуры способствует переходу в узлы кристаллической решетки, где они не создают донорных уровней, будучи изовалентны с сурьмой. В результате концентрация носителей заряда уменьшается, а коэффициент Холла растет. Некоторое уменьшение R_x при температурах выше 100°C обусловлено увеличивающимся вкладом тепловой генерации собственных носителей заряда.

Более сложная зависимость удельного электросопротивления ρ от температуры представлена на рис. 2. Она обуславливается температурными изменениями как концентрации электронов $n=-(eR_x)^{-1}$, так и изменениями их подвижностей μ . С увеличением температуры подвижность

носителей заряда снижается из-за возрастания рассеяния электронов на фононах. Увеличение удельного электросопротивления с ростом концентрации висмута (линии 1 и 2) обусловлено преимущественно падением подвижности электронов, а не повышением концентрации носителей заряда. В то же время уменьшение удельного электросопротивления для образцов легированных теллуром в основном обусловлено ростом концентрации носителей заряда из-за донорных свойств атомов теллура (линии 3 и 4). Т.к. удельное электросопротивление $\rho = (en \cdot \mu)^{-1}$, то все особенности поведения концентрации n и подвижности μ проявляются и в зависимостях ρ от температуры.

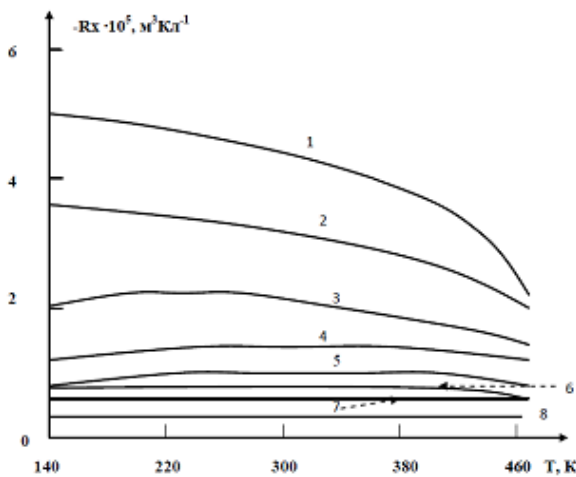


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента Холла от температуры для структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированных Те
 1- $x=0,0$ ат.% Bi, 2- $x=0,1$ ат.% Bi, 3- $x=0,2$ ат.% Bi
 4- $x=0,35$ ат.% Bi, 5- $x=1,2$ ат.% Bi, 6 и 7, а так же 8 – легированные Те до $n=7,68 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $n=1,02 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; $n=5,1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ соответственно.

На рис. 3 представлены зависимости подвижности электронов μ . С увеличением концентрации висмута наблюдается уменьшение подвижности, что связано с дополнительным рассеянием электронов на искажениях решетки, которые вносятся атомами висмута, растягивающие решетку InSb. Незначительное увеличение подвижности электронов с ростом температуры для образцов $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$ является результатом преимущественного рассеяния носителей на ионизированных примесях. Этими примесями могут быть ионы висмута, находящиеся в тетраэдрических порах InSb,

т.е. в междоузлиях, которые и образуют дополнительные донорные уровни. Для легированных теллуром образцов подвижность практически не зависит от температуры, что обуславливается вероятнее всего конкуренцией двух процессов: противоположными тенденциями в изменении подвижности, вызванными рассеяниями носителей заряда на фононах решетки и ионизированных примесях соответственно. А поскольку вклад в концентрацию носителей заряда из-за генерации собственных носителей заряда является несущественным, то и удельное электросопротивление образцов, легированных теллуром, практически не изменяется с температурой.

Одним из параметров, чувствительных к концентрации висмута, является коэффициент термо-э.д.с. α , что представлено на рис. 4. В области температур (77 – 200) К наблюдается близкая к линейной зависимость термо-э.д.с. от температуры, что согласуется с электронной теорией. С повышением температуры до 300К функция $\alpha(T)$ стремится к насыщению из-за тепловой генерации электронов. С ростом концентрации висмута образуется дополнительное количество донорных уровней, что и приводит к уменьшению модуля коэффициента дифференциальной термо-э.д.с. Температурные изменения коэффициента дифференциальной термо-э.д.с образцов гетероструктур легированных теллуром аналогичны изменениям в нелегированных образцах.

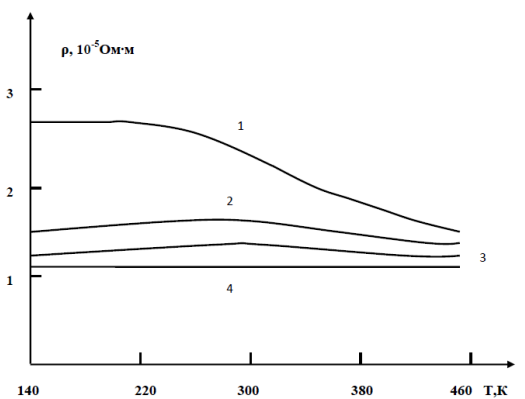


Рисунок 2 – Зависимость удельного электросопротивления от температуры для структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированных Те
 1- $x=1,2$ ат.% Bi, 2- $x=0,2$ ат.% Bi,
 3 и 4 - легированные Те до $n=7,68 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $n=1,02 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ соответственно

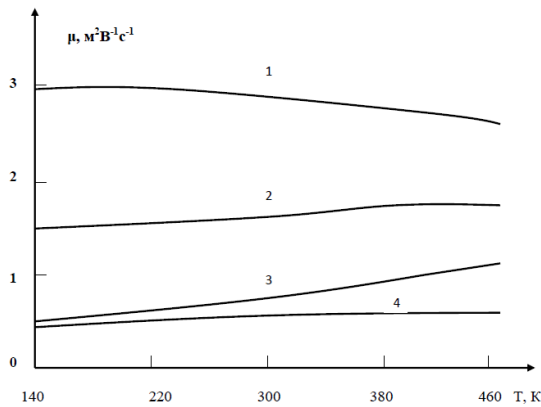


Рисунок 3 – Зависимость подвижности электронов от температуры для структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированных Te

1- $x=0,0$ ат.% Bi , 2 - $x=0,2$ ат.% Bi , 3 - $x=1,2$ ат.% Bi
4 - легированные Te до $n=1,02 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$

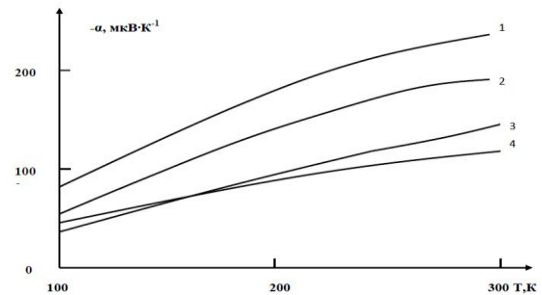


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента дифференциальной термо-э.д.с. от температуры для структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированных Te

1- $x=0,0$ ат.% Bi , $n=1,05 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$
2- $x=0,35$ ат.% Bi
3- $x=1,25$ ат.% Bi
4- легированные Te до $n=7,68 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zilko J.L., Greene J.E. Growth and phase stability of epitaxial metastable $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ films on GaAs I. Crystal growth. *J. Appl.Phys.*, Vol 51.№3, (1980), p. 1549-1559.
2. Zilko J.L., Greene J.E. Growth and phase stability of epitaxial metastable $\text{InSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ films on GaAs II. Phase stability, *J. Appl.Phys.*, Vol 51.№3, (1980), pp. 1589 – 1584.
3. Прокошин В.И., Драпезо А.П., Шилагарди Г., Х. Цооху, Ярмолович В.А. Синтез и исследование свойств полупроводниковых структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, перспективных для изготовления миниатюрных элементов Холла повышенной стабильности, *Наноструктуры в конденсированных средах. Сборник научных статей, Минск, Изд. Центр БГУ, 2011, стр. 141-146.*
4. Прокошин В.И., Ярмолович В.А. Драпезо А.П., Шилагарди Г. Синтез и исследование свойств полупроводниковых структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$, в том числе легированных теллуrom, перспективных для изготовления высокостабильных миниатюрных элементов Холла, *Сборник докладов Международной науч. конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела», 18-21 октября 2011 г., Минск, в трех том. А.Н. Вркисин, Том 3, стр. 208-210.*
5. Прокошин В.И., Ярмолович В.А., Драпезо А.П. Исследование стабильности датчиков Холла, изготовленных из полупроводниковых структур $n\text{-InSb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{-i-GaAs}$. Материалы 4-й Международной научно технической конференции “Приборостроение 2011”, Минск, 2011, стр. 387-389