

Об особенностях энергетического спектра узкозонных полупроводниковых бикристаллов сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.06 \leq x \leq 0.20$)

© А.Е. Георгицэ, В.И. Иванов-Омский*, Ф.М. Мунтяну, М.И. Караман, И.Т. Постолаки[†]

Тираспольский государственный университет,
2069-MD Кишинев, Республика Молдова

* Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 29 января 2007 г. Принята к печати 9 марта 2007 г.)

Приводятся результаты исследования влияния границы раздела кристаллитов на энергетический спектр электронов в узкозонных полупроводниковых бикристаллах $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.06 \leq x \leq 0.20$). Проанализирована структура спектров отражения бикристаллов с границей раздела кристаллитов типа наклона и соответствующих монокристаллов. Из сопоставления оптических спектров монокристаллов и бикристаллов с одинаковыми параметрами в спектральном диапазоне до 6 эВ выделяется ряд особенностей, обусловленных влиянием границы раздела кристаллитов на энергетический спектр носителей заряда.

PACS: 73.20.Nb, 78.20.Ci, 78.40.Fy

1. Введение

Границы раздела в бикристаллах различных полупроводников как особые двумерные внутренние дефекты кристаллической решетки привлекают внимание исследователей в контексте общего интереса к двумерным объектам [1,2]. Кроме того, при определенных условиях, когда состояние носителей заряда до и после взаимодействия с границами зерен строго коррелировано, в бикристаллах могут возникать новые эффекты, отсутствующие в монокристаллических образцах. Следует отметить, что граница раздела кристаллитов в бикристаллах представляет собой достаточно устойчивый во времени двумерный объект, поскольку кристаллиты защищают ее от разных внешних воздействий, а это представляется важным для современной микроэлектроники [1]. В литературе известны исследования транспортных явлений в бикристаллах Bi и сплавах $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ [3–5], в которых описывается влияние границы раздела кристаллитов на перестройку энергетического спектра носителей вблизи поверхности Ферми, в узком энергетическом интервале порядка ширины ее термического размытия. Эти результаты основываются на том, что основные параметры энергетического спектра полупроводниковых сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ известны с достаточно высокой точностью [6]. Поэтому совместные исследования монокристаллов и бикристаллов соответствующего состава позволили выделить особенности перестройки энергетического спектра, обусловленные влиянием границы раздела кристаллитов, что и сделано при анализе эффектов переноса [7].

В данной работе с целью получения информации о влиянии границы раздела кристаллитов на перестройку энергетического спектра носителей заряда в более широком диапазоне энергий $E = 1–6$ эВ в бикристаллах $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.06 \leq x \leq 0.20$) выполнены исследования оптических явлений. Изучены границы раздела типа наклона с различными углами дезориентации.

[†] E-mail: postolachi@list.ru

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Легированные теллуром бикристаллы сплавов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.06 \leq x \leq 0.20$) n -типа проводимости выращивались методом зонной плавки с двойной затравкой определенной геометрической структуры. Угол дезориентации кристаллитов и толщина интерфейса измерялись с помощью электронного микроскопа. В исследованных бикристаллах угол дезориентации изменялся в пределах $3–10^\circ$.

В работе измерены в поляризованном свете спектры отражения бикристаллов с границей раздела типа наклона с помощью модуляционной спектроскопии. Измерения проводились при перпендикулярном падении электромагнитной волны на границу раздела кристалла. При модуляции длины волны λ амплитуда модуляции по всему спектральному интервалу была равна $\Delta\lambda \approx 0.5 \text{ \AA}$. Модуляция проводилась путем вращения кварцевой плоскопараллельной пластины.

Математическая обработка экспериментальных результатов выполнялась с использованием известного соотношения Крамерса–Кронинга.

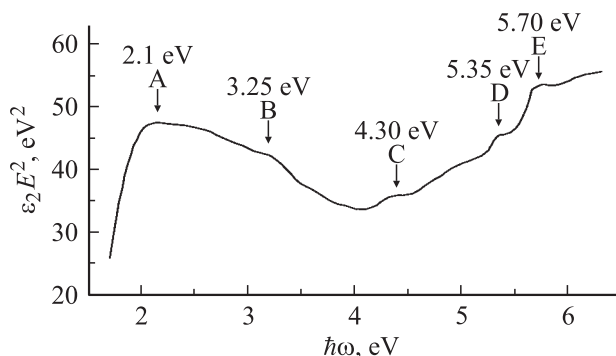


Рис. 1. Спектральная зависимость функции $\epsilon_2 E^2 = f(\hbar\omega)$ для монокристалла $n\text{-Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$ при 300 К.

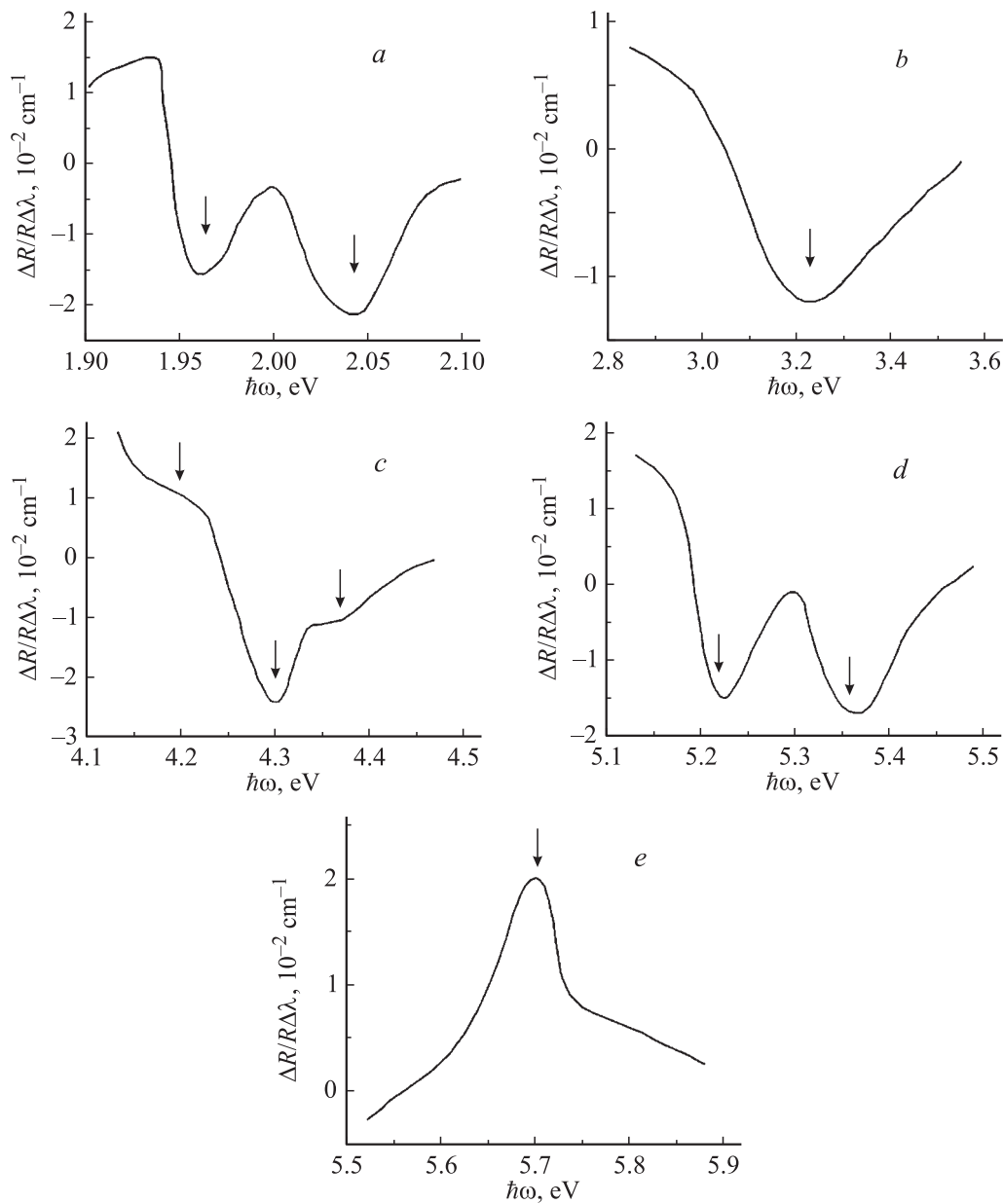


Рис. 2. Спектр функции $\Delta R/R\Delta\lambda$ для бикристалла $n\text{-Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$ при 300 К в области полос А (а), В (b), С (c), D (d), E (e).

На рис. 1 представлена спектральная зависимость мнимой части диэлектрической проницаемости в координатах функции $\varepsilon_2 E^2 = f(\hbar\omega)$ (ε_2 — мнимая часть диэлектрической проницаемости, $E = \hbar\omega$ — энергия фотона) для монокристаллического сплава $n\text{-Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$. Данный спектр получен из экспериментальной зависимости коэффициента отражения от энергии фотона, $R = R(\hbar\omega)$, снятой для этого образца при температуре $T = 300$ К. Как видно из представленных результатов, в спектре $\varepsilon_2 E^2 = f(\hbar\omega)$ выделяется ряд особенностей, обозначенных на рис. 1 А, В, С, D, Е с указанием энергий переходов. В таблице приведены экспериментальные значения энергий максимумов мнимой части диэлектрической проницаемости (функции $\varepsilon_2 E^2$) и теоретический расчет с помощью соотношений Крамерса-Кронинга.

Как видно, наблюдается удовлетворительное согласие экспериментальных и расчетных данных.

На рис. 2 приведены спектры отражения для бикристалла $n\text{-Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}\langle\text{Te}\rangle$ (угол дезориентации 6°) при $T = 300$ К, измеренные с помощью модуляционной спектроскопии, в виде $\Delta R/R\Delta\lambda = f(\hbar\omega)$. Сопоставляя эти результаты с соответствующими особенностями спектра $\varepsilon_2 E^2 = f(\hbar\omega)$ отмечаем, что в спектре $\Delta R/R\Delta\lambda = f(\hbar\omega)$ бикристалла $n\text{-Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$ выделяются два типа особенностей: простые структуры для оптических полос В (рис. 2, b, $\hbar\omega = 3.3$ эВ), Е (рис. 2, e, $\hbar\omega = 5.7$ эВ) и сложные структуры вблизи точек А (рис. 2, a, $\hbar\omega = 1.96$ и 2.04 эВ), С (рис. 2, c, $\hbar\omega = 4.2$, 4.3 и 4.36 эВ), D (рис. 2, d, $\hbar\omega = 5.22$ и 5.36 эВ), отсутствующие в спектрах функции $\varepsilon_2 E^2 = f(\hbar\omega)$ монокристаллического

Основные энергетические особенности спектра $\varepsilon_2 E^2 = f(\hbar\omega)$ для монокристалла $n\text{-Bi}_{0.88}\text{Sb}_{0.12}$.

Полоса $\varepsilon_2 E^2$	Энергия, эВ	
	эксперимент	расчет
A	2.0	2.1
B	3.25	3.23
C	4.30	4.35
D	5.35	5.40
E	5.70	5.70

образца. Сложные структуры на рис. 2, *a, c, d* свидетельствуют о расщеплении энергетических зон в соответствующих точках симметрии.

Исследовались спектры отражения бикристаллов этого же состава, но с углами дезориентации 3 и 10°. Экспериментальные результаты свидетельствуют о следующем: энергетическое положение линий В ($\hbar\omega = 3.2$ эВ) и Е ($\hbar\omega = 5.7$ эВ) не изменяется с увеличением угла дезориентации, однако изменяются форма, полуширина оптических полос А, С, D и смещение по шкале энергии. Так, например, для образца с углом дезориентации 6° упомянутые структуры смещаются в области больших энергий на 75, 60 и 150 мэВ, для образца с углом дезориентации 10° смещение составляет 90, 73 и 178 мэВ. Выделенные особенности в оптических эффектах бикристаллов, по нашему мнению, свидетельствуют о том, что граница раздела кристаллитов как внутренний двумерный дефект способствует образованию деформационного и электрического полей; именно эти поля и являются причиной изменений в энергетическом спектре носителей в бикристаллах в данном диапазоне.

Список литературы

- [1] E. Abrahams, P. Anderson, D. Liccardello. Phys. Rev. Lett., **42**, 673 (1979).
- [2] D. Tsui, H. Stormer, A. Gossand. Phys. Rev. Lett., **48**, 1159 (1982).
- [3] Б.М. Вул, Э.И. Заварицкая. ЖЭТФ, **76**, 1089 (1979).
- [4] Ф.М. Мунтяну. ФТТ, **28**, 3140 (1986).
- [5] F. Munteanu, M. Onu, V. Chistol, Iu. Dubkovetski, A. Gheorghitsa. *Fifth General Conference of the Balkan Physical Union* (Vrnjacka Banja, Serbia and Montenegro, 2003) p. 763.
- [6] Ф.М. Мунтяну, Ю. Дубковецкий, А. Гилевски. ФТТ, **46**, 1763 (2004).
- [7] F.M. Munteanu, V. Kistol, I. Popov. Phys. Status Solidi B, **148**, K37 (1988).

Редактор Л.В. Шаронова

Peculiarities of the energy spectrum in narrow-gap semiconductor bicrystals $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.06 \leq x \leq 0.20$)

A.E. Georgitse, V.I. Ivanov-Omsky*, F.M. Muntyanu, M.I. Karaman, I.T. Postolaki

Tiraspol State University,
2069-Md Chisinau, Moldova

* Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract In this report are represented results about the influence of crystallite interfaces on the electron energy spectrum in narrow-gap semiconductors bicrystals $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($0.06 \leq x \leq 0.20$). The full analysis has been done of the reflection spectrum structure of bicrystals with the crystallite boundary such as an inclination and of corresponding monocrystals. From comparison of optical spectra for monocrystals and bicrystals with the same parameters in the spectral range up to 6 eV, a set of peculiarities was observed due to influence of interfaces of the crystallites on the energy spectrum of charge carriers.