

- [1] Эпштейн Э. М., Шмелев Г. М., Цуркан Г. И. Фотостимулированные процессы в полупроводниках. Кишинев, 1987. 168 с.
 [2] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М., 1963. 702 с.
 [3] Сивянский Э. П. Кинетические эффекты в электрон-фононных системах в поле лазерного излучения. Кишинев, 1976. 170 с.

Институт прикладной физики
 АН ССР Молдовы
 Кишинев

Получено 21.03.1990
 Принято к печати 9.01.1991

ФТП, том 25, вып. 5, 1991

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ СО СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИМИ ВАКАНСИЯМИ

Грушка Г. Г., Гавалешко Н. П., Грушка З. М.

Объектами исследования являются монокристаллы полупроводниковых соединений $p\text{-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_8$ ($x=0.375$), $n\text{-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_8$ ($x=0.5$) и $n\text{-In}_2\text{Te}_3$ ($x=1$), относящиеся к системе $(\text{In}_2\text{Te}_3)_x\text{-(Hg}_3\text{Te}_3)_{1-x}$. Характерной особенностью указанных

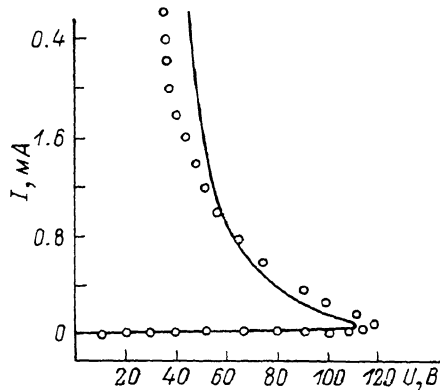
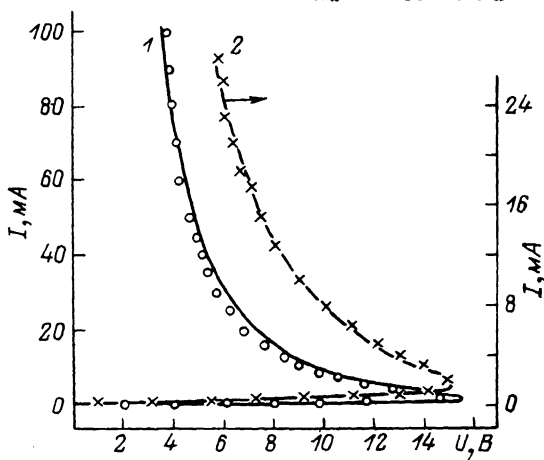


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики образцов $n\text{-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_8$ толщиной 760 мкм (1) и $p\text{-Hg}_5\text{In}_2\text{Te}_8$ толщиной 880 мкм (2).

Рис. 2. Вольт-амперная характеристика образца $n\text{-In}_2\text{Te}_3$ толщиной 500 мкм.

кристаллов является наличие в их кристаллической решетке большой ($\sim 10^{21} \text{ см}^{-3}$) концентрации стехиометрических вакансий и связанных с ними локализованных состояний в запрещенной зоне [1, 2]. Исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) массивных образцов толщиной $d=100\text{--}900$ мкм при комнатной температуре. Эксперименты проводились в режиме постоянного тока. Последовательно с образцом включалось нагрузочное сопротивление, величина которого подбиралась в пределах 760 Ом—100 кОм в зависимости от сопротивления образца. Все исследованные образцы обладали статическим отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС) S-типа. Типичные зависимости ВАХ приведены на рис. 1, 2 (экспериментальные данные изображены точками). При переходе в низкоомное состояние сопротивление образцов, имевших $10^3\text{--}10^6$ Ом, уменьшается на 2—3 порядка. Величина порогового напряжения U_* ($E_* \approx \approx 10^2\text{--}10^3$ В/см) зависит от сопротивления образца и уменьшается с повышением

температуры. Заметного влияния контактов на эффект переключения не обнаружено. При превышении тока $I=2,4, 26, 100$ мА для In_2Te_3 , $\text{Hg}_5\text{In}_2\text{Te}_8$ и $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ соответственно возникали необратимые явления, в результате которых исходное сопротивление и пороговое напряжение уменьшались. Привлечение предлагаемых в [3-6] теоретических моделей для объяснения ВАХ S-типа в нашем случае не дало согласия с экспериментом. Известно [6], что причиной ОДС в массивных образцах являются тепловые и электронные процессы. Температура материала при прохождении тока определяется в основном его теплоемкостью и теплопроводностью. Если отдача тепла в окружающее пространство меньше, чем выделяемое джоулево тепло, то происходит нагрев центральной части образца, расположенной между электродами. Температура интересующей области определялась как $T=T_0+\Delta T$, где T_0 — температура окружающей среды, а величина перегрева

$$\Delta T = \frac{IUt}{\pi r^2 d \left(c\gamma + \frac{2\alpha t}{r\Delta x} \right)}, \quad (1)$$

где c — удельная теплоемкость, равная ≈ 418 Дж/(кг·К), γ — плотность материала, α — коэффициент теплопроводности, r — радиус электродов, Δx — среднее расстояние от электрода до боковой грани образца, t — время. При выводе формулы (1) предполагалось, что r является радиусом области (канала тока), по которой проходит основной поток носителей. Используемые при вычислениях параметры приведены в таблице.

Соединение	ΔE , эВ	γ , г/см ³	α , Вт/(см·К)	σ_0 , Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	γ , Ом ⁻¹ ·см ⁻¹
$\text{Hg}_5\text{In}_2\text{Te}_8$	0.66	7.3	$8.1 \cdot 10^{-3}$ [7]	$1.15 \cdot 10^2$	$8.38 \cdot 10^{-4}$
$\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$	0.74	7.1	$8.0 \cdot 10^{-3}$ [7]	$7.8 \cdot 10^2$	$9.0 \cdot 10^{-4}$
In_2Te_3	1.1	5.7	$6.9 \cdot 10^{-3}$ [8]	$7.0 \cdot 10^3$	$2.5 \cdot 10^{-6}$

При суммарном воздействии теплового и электронного механизмов электропроводность может быть представлена в виде

$$\sigma(T, I) = \sigma(T) + \sigma(I),$$

где

$$\sigma(T) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right), \quad (2)$$

ΔE — ширина запрещенной зоны соединения. Составляющая электропроводности $\sigma(I)$, обусловленная дополнительным увеличением концентрации носителей заряда за счет освобождения ловушек, может быть представлена эмпирической формулой $\sigma(I) = \sigma(I/I_0)^{1/2}$, где I_0 — ток, соответствующий пороговому напряжению. При расчетах использовались величины σ_0 и σ (см. таблицу), найденные экспериментально. Величина σ определялась как тангенс угла наклона зависимости $\sigma(I) = \sigma_{\text{эксп}}(T, I) - \sigma(T)$, где $\sigma_{\text{эксп}}(T, I)$ — экспериментальная, а $\sigma(T)$ — рассчитанная по формуле (2) зависимости. Используя выражение

$$U = \frac{Id}{\left[\sigma_0 \exp\left(-\frac{\Delta E}{2kT}\right) + \sigma(I/I_0)^{1/2} \right] s}, \quad (3)$$

где s — площадь электродов, рассчитаны вольт-амперные характеристики, изображенные на рис. 1, 2 сплошными линиями. Полученные ВАХ для $\text{Hg}_5\text{In}_2\text{Te}_8$, $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ и In_2Te_3 показывают хорошее совпадение экспериментальных и рассчитанных по формуле (3) зависимостей.

Таким образом, установлено, что причиной ОДС в полупроводниках со стехиометрическими вакансиями являются теплоэлектронные процессы роста электропроводности при увеличении плотности тока.

Исследованные полупроводники являются перспективными материалами для переключающих устройств. Понимание механизма переключения позволит обеспечить сохранность параметров устройств в процессе работы.

Список литературы

- [1] Грушка Г. Г., Грушка Э. М., Гавалешко Н. П. // УФЖ. 1985. Т. 30. В. 2. С. 303—307.
- [2] Анашина Д. Б., Бакуменко В. Л., Бонаков А. К., Грушка Г. Г., Курбатов Л. Н. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 5. С. 964—964.
- [3] Костылев С. А., Шкут В. А. Электронное переключение в аморфных полупроводниках. Киев, 1978. 203 с.
- [4] Басс Ф. Г., Бочков В. С., Гуревич Ю. Г. Электроны и фононы в ограниченных полупроводниках. М., 1984. 287 с.
- [5] Сандомирский В. Б., Суханов А. А., Ждан А. Г. // ЖЭТФ. 1970. Т. 58. В. 5. С. 1683—1694.
- [6] Калмыкова Н. П., Сморгонская Э. А., Шпунт В. Х. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 9. С. 1559—1565.
- [7] Spencer P. M. // Brit. J. Appl. Phys. 1964. V. 3. N 5. P. 389—391.
- [8] Заславский А. И., Сергеева В. М., Смирнов И. А. // ФТТ. 1960. Т. 2. В. 11. С. 2885—2893.

Черновицкий государственный университет

Получено 21.06.1990
Принято к печати 9.01.1991

ФТП, том 25, вып. 5, 1991

РОТАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Городниченко О. К.

Известно, что поворотные моды деформации наблюдаются в металлах при больших степенях пластической деформации и сопровождаются образованием фрагментированных структур [1, 2]. О фрагментации поликристаллических ковалентных кристаллов при высоких давлениях и температурах сообщалось в [3]. В работе [4] нами отмечалось уже, что при деформировании полупроводниковых композиционных материалов, таких как эпитаксиальные структуры арсенида галлия, пластические повороты появляются уже на начальных стадиях деформации.

Исследование высокотемпературной пластической деформации эпитаксиальных структур арсенида галлия представляет значительный интерес с точки зрения изучения процессов дефектообразования и формирования электрофизических свойств. В то же время эпитаксиальные структуры являются прекрасным модельным материалом с варьируемыми параметрами для изучения механизмов пластической деформации в композиционных материалах.

В настоящей работе представлены результаты исследований высокотемпературной пластической деформации гомоэпитаксиальных структур GaAs и гетероструктур $Al_xGa_{1-x}As$ —GaAs.

Методика эксперимента

Деформирование образцов осуществлялось растяжением с постоянной скоростью деформации $\dot{\epsilon}=3.7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ при $T=1073 \text{ К}$ на установке типа ИМАШ 20—75. Образцы арсенида галлия вырезались вдоль оси роста $\langle 111 \rangle$ из слитков, выращенных методом Чохральского, таким образом, что боковые грани совпадали с плоскостями (110), (112). Подложки изготавливались в виде гантелей с прямоугольным сечением $S=2.4 \times 1.0 \text{ мм}^2$ по методике [5]. Длина рабочей части удовлетворяла требованиям, предъявляемым к длинным образцам.