

Как отмечалось, пьезоактивность фторполимеров связана с наличием двух фаз, при этом пьезо- и пироответы принято связывать с изменением объема полимера при неизменном интегральном дипольном моменте. Наши результаты, относящиеся к зависимостям $S-E$ и $T-E$, позволяют последнее допущение подвергнуть сомнению. Скорее активность пленки связана не с изменением объема, а с изменением формы пьезоэлемента. В этом случае возникновение пьезоответа на деформацию возможно только при наличии сильного внутреннего электрического поля в аморфных прослойках. Высокие электретенные свойства рассматриваемых материалов общезвестны и экспериментально подтверждены в [6]. Более того, установлено, что низкая стабильность пьезомодуля пленок 1 обусловлена низкими электретенными свойствами аморфных прослоек. Таким образом, можно предположить, что принцип действия пленочных пьезоэлементов такой же, как и принцип действия электретенного микрофона, при этом заряженной электретенной пленке (с постоянным D) соответствует интегральный дипольный момент β -фазы, а воздушному зазору — аморфные прослойки. Предложенная модель позволила дать как качественное (знаки коэффициентов), так и количественное описание пьезо- и пироактивности фторполимерных сегнетоэлектриков.

Литература

- [1] Lovinder A. J. // Jap. J. Appl. Phys. 1985. Vol. 24. Suppl. 24-2. P. 18—21.
- [2] Kazuhiko Y., Kazumi N., Takeshi Y. et al. Piezoelectric polimeric material. Pat N 4560737 USA, С 081 27/10.
- [3] Davis G. T., Broadhurst M. G., Lovinger A. J. et al. Ferroelectrics, 1984. Vol. 57. P. 73—84.
- [4] Бойцов В. Г., Тазенков Б. А., Скугарев А. С. и др. Способ и устройство для изготовления электретов. Пат. ДЕ 3333925 А1 ФРГ, G 7/02.
- [5] Роуз А. Зрение человека и электронное зрение / Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 159 с.
- [6] Куренная Л. Ф., Тазенков Б. А. // Всесоюз. конф. «Достижения и пути развития электротографической техники». М., 1986. С. 113—116.

Ленинградский государственный педагогический институт им. А. И. Герцена

Поступило в Редакцию 9 февраля 1988 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $n-p$ -CdSiAs₂

Ю. В. Рудь, М. А. Таиров

Энергетический барьер на монокристаллах тройного соединения CdSiAs₂, ближайшего аналога GaAs, представляет интерес для создания фотопреобразователей линейно поляризованного излучения [1]. Настоящая работа является продолжением [2-4] и посвящена изучению электрических и фотоэлектрических явлений в структурах с энергетическим барьером в ориентированных кристаллах p -CdSiAs₂.

Диоды создавались диффузионным методом естественного или примесного легирования [2]. Для диффузии использовались ориентированные в плоскости (100) монокристаллические пластины специально не легированных кристаллов CdSiAs₂ дырочного типа проводимости ($p \approx 1 \div 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $U_p \approx 200-400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при 300 К). В результате диффузионного отжига в приповерхностном слое толщиной 50—100 мкм обеспечивалась конверсия $p \rightarrow n$. Концентрация электронов в слое $n \approx 10^{17}-10^{18} \text{ см}^{-3}$ и от температуры в области 77—400 К практически не зависела. После сошлифовки n -слоя со всех сторон пластины, за исключением одной (100), и последующего полирующего травления $n-p$ -структуры имели средние размеры $2 \times 4 \times 0.5 \text{ мм}$, причем толщина n -области была существенно меньше толщины p -области ($d_n \ll d_p$). Комплексные исследования фотоэлектрических процессов в связи с технологическими параметрами создания слоев n -типа позволили существенно улучшить по сравнению

с [3] параметры диодных структур из CdSiAs_2 . Основные закономерности состоят в следующем.

На рис. 1 приведена типичная стационарная ВАХ одного из гомопереходов. Прямые ветви таких структур описываются в области малых смещений известным соотношением

$$I = I_s [\exp(eU/nkT) - 1],$$

где для представленного диода коэффициент $n=1$, а $I_s \approx 10^{-10}$ А при 300 К.

Как показывают исследования, вариацией технологических режимов удается получать также диоды как с $n=2$, так и с промежуточными значениями при $T=300$ К. Аналогичные результаты сообщались в литературе и для диодных структур из бинарного аналога данного тройного соединения GaAs [8]. С позиций существующих теоретических представлений [8] наблюдаемые для $n-p\text{-CdSiAs}_2$ изменения величины n свидетельствуют о имеющей место конкуренции между диффузионной и рекомбинационной природой прямого тока. Преобладание того или иного механизма токопереноса определяется параметрами технологического процесса.

При прямых смещениях $U > 1$ В стационарные ВАХ хорошо аппроксимируются соотношением типа $U = U_{\text{отс}} + R_{\text{отс}} I$. Напряжение отсечки колеблется для различных образцов в диапазоне 0.2—0.8 В, а остаточное сопротивление $n-p$ -переходов лежит в пределах 10^2 —

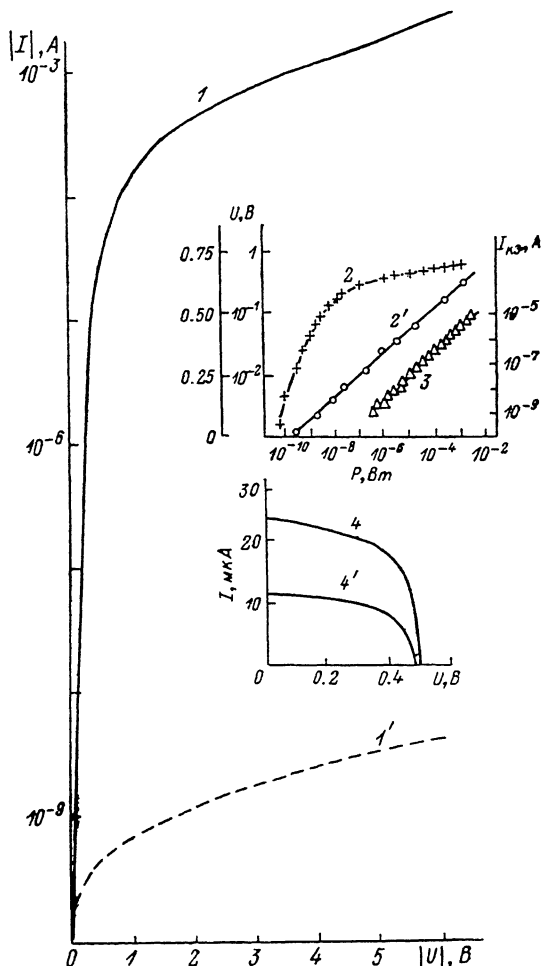


Рис. 1. Стационарная вольт-амперная характеристика (I — прямая, I' — обратная), зависимости фотонапряжения холостого хода ($2, 2'$) и тока короткого замыкания (3), нагрузочная характеристика ($4, 4'$) структур $n-p\text{-CdSiAs}_2$ при $T=300$ К.

$1'$ — образец 119-22, $d_n \approx 50$ мкм, $d_p \approx 400$ мкм; $2 - \lg U = f(\lg P)$, $2' - U = f(\lg P)$; $3 - \lg I_{\text{КЗ}} = f(\lg P)$, образец 6-9-2, $d_n \approx 500$ мкм, $d_p \approx 300$ мкм; P , мВт/см²; 4 — 2, $4'$ — 1, образец 26-61, освещение $\lambda_B \approx 2$ эВ со стороны p -области, $d_n \approx 50$ мкм, $d_p \approx 400$ мкм.

10^6 Ом при 300 К. С понижением температуры остаточное сопротивление структур растет в соответствии с законом

$$R_{\text{отс}} \sim \exp\left(\frac{0.2-0.3 \text{ эВ}}{kT}\right),$$

причем энергия активации оказывается близкой к глубине залегания акцепторного уровня в исходном $p\text{-CdSiAs}_2$. Использованный метод [1] позволил впервые получить диоды с выпрямлением от 10^3 до 10^6 , а в лучших структурах обратный ток $\approx 10^{-10}$ А ($U \approx 5$ В) при 300 К. Обратный ток структур не имеет насыщения и следует закону $I_{\text{обр}} \sim U^m$, где $m \sim 0.8$ в области $U < 0.4$ В, а при $U > 0.5$ В величина m увеличилась до 1.7—2.0 в разных диодах, что, по-видимому, связано с несовершенствами в периферии структур.

При освещении диодов со стороны p -области их фоточувствительность всегда оказывается выше, чем при освещении со стороны n -области, несмотря на то, что $d_n \ll d_p$. Фотонапряжение диодов в зависимости от мощности падающего излучения P следует логарифмическому закону и в координатах $U = f(\lg P)$ представляется прямой (рис. 1, кривые 2, 2'), как и зависимость тока короткого замыкания $\lg I_{\text{КЗ}} \sim \lg P$ во всем диапазоне мощностей. Эти зако-

номерности соответствуют теории фотодиода [6, 7]. В области высоких P фотонапряжения обнаруживается тенденция к насыщению на уровне 0.4–0.8 В для различных образцов. При этом фотонапряжение насыщения при освещении диодов со стороны p -области оказывается близким к $U_{ох}$ и может быть принято за высоту потенциального барьера. Для $n-p$ -CdSiAs₂ максимальная вольтовая чувствительность $S_V \approx 10^5$ В/Вт, а токовая $S_I = 30$ мА/Вт при освещении со стороны p -области.

На рис. 1 (кривые 4, 4') показаны также типичные нагрузочные характеристики полученных $n-p$ -структур. Они характеризуются коэффициентом заполнения $\beta = 30-80\%$ и коэффициентом полезного действия $\eta = 0.3-0.8\%$. При солнечном освещении с интенсивностью $L \approx 0.4$ Вт/см² в таких структурах ток короткого замыкания $I_{к.з.} \approx 0.24$ мА при $U_{ох} \approx 0.6$ В, что отвечает $\eta \approx 0.5\%$ при $T = 300$ К.

Типичные спектры фоточувствительности $n-p$ -CdSiAs₂ к интенсивности падающего из-

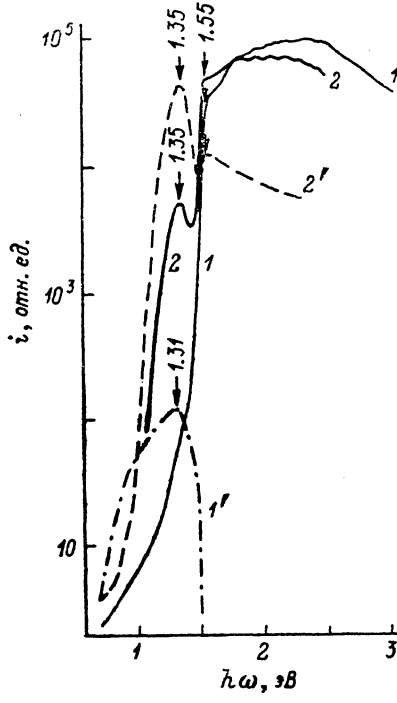


Рис. 2. Спектральные зависимости фототока $n-p$ -CdSiAs₂ в естественном излучении при освещении со стороны p -области (1, 2) и n -области (1', 2') при $T = 300$ К. 1, 1' — образец 150-1, 2, 2' — образец 6-9. Спектральное разрешение 1 МэВ.

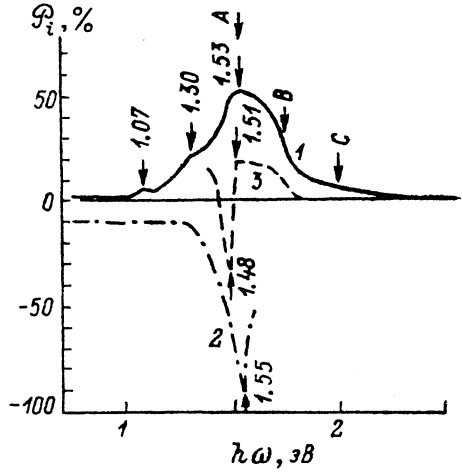


Рис. 3. Спектральные зависимости коэффициента естественного фотохроизма $n-p$ -CdSiAs₂ при освещении вдоль [001] со стороны p -области (1) и n -области (2) и вдоль [010] (3) при $T = 300$ К. Активная область структуры ориентирована в плоскости (100). Образец 150-1, $d_n = 50$ мкм, $d_p = 350$ мкм.

лучения приводятся на рис. 2, где освещение со стороны p -области обеспечивает максимальную фоточувствительность в области фундаментального поглощения CdSiAs₂, тогда как при освещении со стороны тонкого n -слоя фототок доминирует в примесной области. Резкий коротковолновый спад фототока (рис. 2, кривые 1, 2) соответствует экспоненциальному увеличению фототока вблизи энергии минимальных прямых A -переходов. Спектры i (рис. 2) также показывают, что использованный метод получения диодов допускает вариацию соотношения между примесной и собственной фоточувствительностью. Аналогичную роль играет и изменение в геометрии регистрации.

Изменение геометрии фоторегистрации вносит ощутимые изменения и в поляризационную фоточувствительность таких фотопреобразователей. При освещении диодов со стороны p -области коэффициент фотохроизма ϕ_i положителен во всей спектральной области фоточувствительности и максимален вблизи энергии прямого межзонного A -перехода (рис. 3). Коротковолновый спад фотохроизма, как и в фотопроводимости кристаллов p -CdSiAs₂ [4], вызван включением разрешенных преимущественно в поляризации $E \perp$ с B - и C -переходов. Отсутствие инверсии знака ϕ_i вплоть до 3.5 эВ является в первую очередь свидетельством того, что длина диффузионного смещения фотоэлектронов в p -области близка к глубине за-

легания активной области от освещаемой плоскости [1]. Следует также обратить внимание на то, что спектральный контур \mathcal{S}_2 «затянут» в длинноволновую область относительно нелегированного CdSiAs_2 [4], причем на его склоне четко выделяются два пика. Один из них при $\hbar\omega \approx 1.30$ эВ согласуется с энергетическим положением длинноволнового максимума в спектре фоточувствительности (рис. 2, кривые 1, 1') и может быть приписан возникновению донорных центров в слое n -типа. Второй максимум в спектре \mathcal{S}_2 при $\hbar\omega \approx 1.1$ эВ также, вероятно, обусловлен изменениями в электронном спектре CdSiAs_2 при конверсии типа проводимости. При освещении структур со стороны слоя n -типа (рис. 3, кривая 2) коэффициент фотоплекроизма во всей области фоточувствительности инвертирует знак на отрицательный, а вблизи энергии A -перехода стремится к предельному значению $|\mathcal{S}_2| \approx 100\%$. Это характерные признаки случая, когда активная область структуры удаляется от освещаемой поверхности на расстояния, превышающие длину диффузионного смещения фотогенерированных носителей заряда [1]. В данном случае это означает, что длина диффузионного смещения фотодырок в тонком слое n -типа оказывается намного меньше глубины залегания активной области. С учетом того, что удельное сопротивление n -слоя много меньше, чем p -области, можно считать, что активная область структуры практически полностью лежит в p - CdSiAs_2 . Трансформация в спектре фотоплекроизма, которая происходит при освещении торца n - p - CdSiAs_2 (рис. 3, кривая 3), когда поглощением в прилегающем к активной области структуры вещества можно пренебречь, подтверждает справедливость проведенной интерпретации.

В заключение приведем максимальные значения азимутальной поляризационной вольтовой $\Phi_V \approx 500$ В/Вт·град и токовой $\Phi_i \approx 0.2$ мА/Вт·град фоточувствительностей ($T=300$ К), которые достигаются в случае освещения n - p - CdSiAs_2 со стороны p -области. Эти оценки указывают на возможность применения полученных структур в поляриметрии ближнего ИК диапазона.

Литература

- [1] Рудь Ю. В. // Изв. вузов. Физика. 1986. № 8. С. 68—83.
- [2] Довлетмурадов Ч., Овезов К., Прочухан В. Д. и др. // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. Вып. 19. С. 878—881.
- [3] Довлетмурадов Ч., Овезов К., Прочухан В. Д. и др. // ФТП. 1976. Т. 10. Вып. 9. С. 1659—1663.
- [4] Лебедев А. А., Овезов К., Прочухан В. Д. и др. // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2. Вып. 9. С. 385—390.
- [5] Арсенид галлия. Получение, свойства и применение / Под ред. Ф. П. Кесаманлы, Д. Н. Наследова. М.: Наука, 1973. 471 с.
- [6] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 1. 455 с.
- [7] Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1973. 456 с.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
12 февраля 1988 г.

05; 06; 07; 11; 12

Журнал технической физики, 49, в. 6, 1988

ОПТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ НА ПЛЕНКАХ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ С СУБМИКРОНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В. П. Корольков, В. П. Чернухин

В настоящее время уделяется много внимания различным областям применения аморфных полупроводников, в том числе появился ряд публикаций об исследованиях возможности их применения в качестве материала для оптической записи [1—3]. В работах [1, 2] для записи на пленках аморфного негидрогенизированного кремния (a -Si) использовался тот факт, что под действием интенсивного лазерного излучения пленка переходит из аморфного состояния в поликристаллическое и значительно уменьшается коэффициент поглощения в диапазоне длин волн 400—800 нм. Однако совершенно не было изучено пространственное разрешение такого способа прямой оптической записи. В данной работе сообщается о получении при записи на пленках a -Si сфокусированным лазерным лучом пространственного разрешения,