

06.2;06.3

©1994

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ГЕТЕРОСТРУКТУРА ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ- НЕЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ КРИСТАЛЛ НА СИСТЕМЕ ГИДРИРОВАННЫЙ КРЕМНИЙ-ТЕЛЛУРИД КАДМИЯ

*П.Г.Кашерининов, М.М.Мездрогина,
И.Д.Ярошецкий*

Создание гетероструктур с прозрачной для носителей тока границей раздела на материалах с существенно различными параметрами решетки представляет собой значительную научную и технологическую проблему, связанную, в первую очередь, с трудностями реализации совершенных границ раздела на материалах с сильно различающимися коэффициентами термического расширения в отсутствие стабильных фаз твердых растворов.

Возможным путем реализации этой проблемы представляется создание гетероструктур на таких материалах, одним из которых является материал с варьируемой величиной постоянной решетки, согласующейся с параметрами решетки монокристалла, например гидрированный кремний. В настоящее время разработана технология осаждения на полупроводниковый монокристалл слоев гидрированного кремния толщиной до 5 мкм с концентрацией дефектов на границе раздела $N \leq 10^{15} \text{ см}^{-3}$ [1].

Основная трудность на пути широкого использования пленок аморфного гидрированного кремния в качестве одного из слоев таких гетероструктур связана с малыми значениями в них параметров $\mu\tau$ для дырок $(\mu\tau)_p \leq 10^{-8} \text{ см}^2/\text{В}$. В работе исследуются малоизученные и чрезвычайно перспективные для фотопреобразователей гетероструктуры электрооптический-неэлектрооптический кристалл с прозрачной для носителей тока границей раздела между слоями (полуизолирующий чистый теллурид кадмия-аморфный гидрированный кремний). Исследуется специально созданный тип структуры, в котором через слой аморфного гидрированного кремния ($\alpha\text{-Si:H}$) при освещении проходят только электроны (структуры с обратносмещенным $n-p$ переходом в слое $\alpha\text{-Si:H}$, освещаемые со стороны этого слоя светом, поглощаемым в теллуриде кадмия ($\lambda = 0.8 \text{ мкм}$)). Такие

структуры создавались на кристалле p -CdTe марки ТКД с $\rho = 10^8 - 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ с концентрацией примесных уровней $N \leq 10^{12} \text{ см}^{-3}$, выращенных по методике [2]. Образцы представляли собой плоскопараллельные пластины $3 \times 7 \times 9 \text{ мм}$ с плоскостью 7×9 , ориентированной по кристаллографическому направлению [100]. Методом высокочастотного разложения моносилановой смеси на поверхность кристалла наносились слои легированного и нелегированного α -Si:H, образующие n - p переход на поверхности CdTe. На поверхность гетероструктуры с двух сторон наносились оптически прозрачные металлические (золотые) электроды (М). Между поверхностью полуизолирующего CdTe и золотым электродом при этом образуется слой туннельно-тонкого диэлектрика (ТД) [3].

Исследуемая структура представляет собой структуру типа $n - p$ (ТД)М (α -Si:H)- p (CdTe)-(ТД)-М, распределение электрического поля в которой из-за наличия пленки (ТД) крайне чувствительно к плотности инжектированных в слой CdTe носителей тока [3]. На рис. 1, а, б представлены вольт-амперные и люкс-амперные характеристики таких структур. Видно, что вольт-амперные характеристики имеют ярко выраженные зависимости от полярности приложенного напряжения. Освещение структур со стороны обратносмещенного перехода сопровождается протеканием сквозных фототоков, величина которых увеличивается с увеличением интенсивности освещения и величиной приложенного напряжения. Эти характеристики достаточно типичны для $n - p$ переходов.

Распределение электрического поля между слоями в такой структуре в темноте и при включении освещения исследовалось с помощью высокочувствительной электрооптической методики, фиксирующей изменение напряжения в электрооптическом слое при измерении продольного эффекта Поккейльса [4] (рис. 2, а, б). Структура, размещенная между двумя поляризаторами, освещалась со стороны обратносмещенного n - p перехода одновременно записывающим ($\lambda = 0.8 \text{ мкм}$, $I = 1.5 \text{ мВт/см}^2$) и считывающим ($\lambda = 1.3 \text{ мкм}$) светом. Интенсивность считывающего светового потока на выходе структуры фиксировалась германиевым фотодиодом. Напряжение на структуре изменялось в диапазоне $U_0 = 0 - 300 \text{ В}$. На рис. 2, в представлена зависимость сигнала от считывающего светового потока (U) как функция приложенного к структуре напряжения (U_0) в темноте и при включении записывающего света. Как видно из кривой 1 на рис. 2, в, в отсутствие записывающего светового потока интенсивность сигнала от считывающего света на выходе структуры растет с ростом приложенного

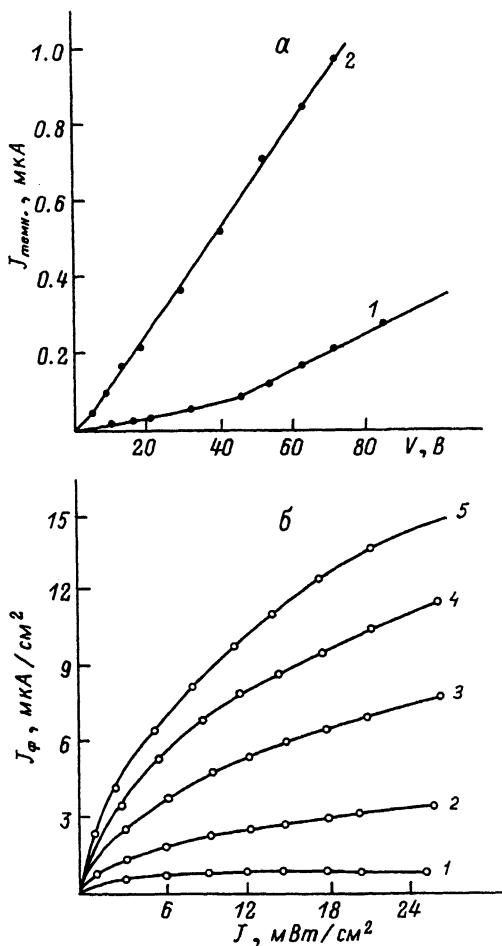


Рис. 1. Фотоэлектрические характеристики гетероструктур $\alpha\text{-Si:H-CdTe}$ с $n\text{-p}$ переходом в слое $\alpha\text{-Si:H}$.

a — вольт-амперные характеристики структур при обратной (1) и прямой (2) полярности приложенного напряжения; b — характеристика ток-интенсивность освещения структуры при обратной полярности приложенного напряжения U_0 , В: 1 — 10, 2 — 20, 3 — 30, 4 — 40, 5 — 50.

напряжения, что связано с распространением области объемного заряда (ООЗ) $n\text{-p}$ перехода в электрооптический слой CdTe . При включении записывающего света сигнал на выходе структуры резко возрастает за счет фотоиндуцированной перестройки электрического поля между слоями, сопровождающийся увеличением напряжения на электрооптическом слое.

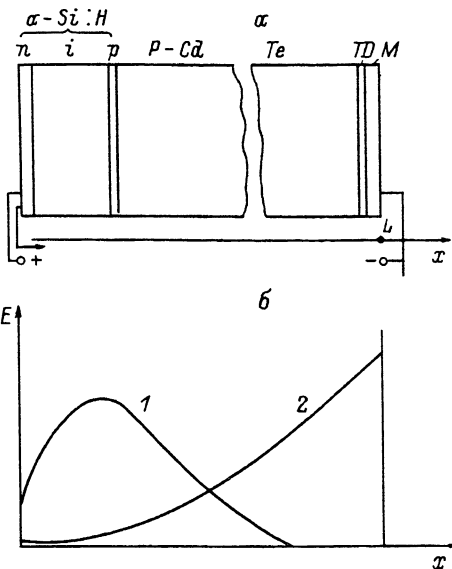


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля в гетероструктуре при освещении.
 а — схема гетероструктуры; б — распределение напряженности электрического поля (E) в гетероструктуре. 1 — в отсутствие, 2 — при включении освещения ($\lambda = 0.8$ мкм);

На вставке рис. 2, в показана зависимость сигнала на выходе от величины приложенного напряжения U_0 при освещении, которая хорошо описывается соотношением $U = aU_0^n$ ($n = 2$), типичным для продольного эффекта Поккельса при $U_0 \ll U_{\lambda/2}$, где $U_{\lambda/2}$ — полуволновое напряжение в электрооптическом кристалле [4].

Таким образом, в полном соответствии с [5], при освещении исследуемой структуры с n - p переходом все приложенное к ней напряжение U_0 оказывается сосредоточенным на базе n - p перехода, т. е. на электрооптическом слое CdTe. На основании полученных результатов (рис. 2, в) можно рассчитать распределение приложенного к структуре напряжения U_0 между электрооптическим слоем U_1 и неэлектрооптическим U_2 в отсутствие освещения:

$$\frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{U_0}{U_1} \right)^2, \quad U_1 = \frac{U_0}{\left(\frac{U_2}{U_1} \right)^{1/2}}, \quad U_2 = U_0 U_1.$$

На рис. 2, в представлено распределение зависимости U_1 от U_0 . Видно, что $U_1 = 0.5 U_0$. Максимальный контраст изображения $K = 2.2$ наблюдался при $U = 200 - 230$ В.

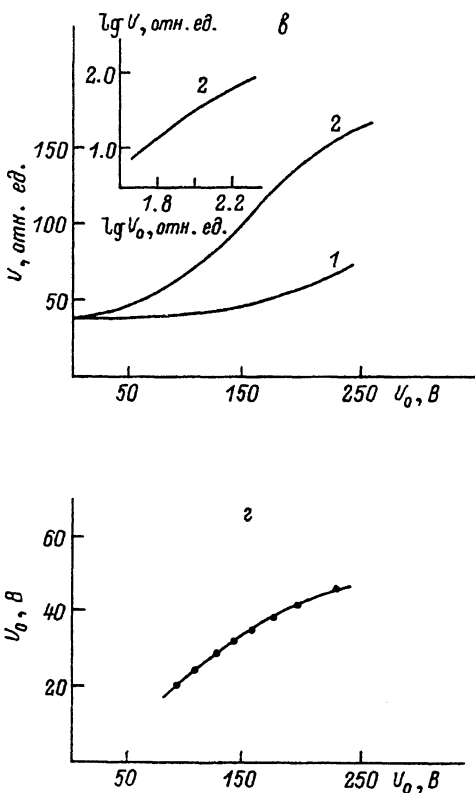


Рис. 2. (продолжение). б — зависимость сигнала от считывающего светового потока на выходе структуры от величины приложенного обратного смещения в отсутствие (1) и при включении (2) и (вставка) записывающего света; з — зависимость напряжения на слое CdTe (U_1) от величины приложенного к структуре обратного смещения (U_0) в отсутствии освещения.

При освещении структуры прямоугольными импульсами записывающего света ($\lambda = 0.8$ мкм) сигнал считывающего света представляет собой импульс с передним фронтом $t_{\phi_1} = 3 \cdot 10^{-5}$ и задним $t_{\phi_2} = 10^{-4}$ с. При локальном освещении поверхности структуры изменение напряженности электрического поля наблюдалось строго под освещаемыми участками поверхности структуры с пространственным разрешением 3–5 лин/мм.

Таким образом, при приложении к структуре напряжения U_0 в полярности обратносмещенного $n-p$ перехода ООЗ перехода занимает всю толщину слоя $\alpha\text{-Si:H}$ и часть толщины слоя CdTe (рис. 2, б). Освещение структуры со стороны $n-p$ перехода светом ($\lambda = 0.8$ мкм) вызывает генерацию электронно-дырочных пар в CdTe . Через границу раздела и слой $\alpha\text{-Si:H}$ при этом проходят электроны, а через слой CdTe — дырки, которые аккумулируются в CdTe у приконтактного слоя туннельно-тонкого диэлектрика, вызывая перестройку электрического поля в структуре. Все напряжение U_0 при этом оказывается приложенным к слою CdTe . Время перестройки поля при включении освещения $t_{\phi_1} = 3 \cdot 10^{-5}$ с, восстановление исходного распределения поля после включения освещения происходит за время $t_{\phi_2} = 10^{-4}$ с. Пространственное разрешение распределения поля составляет 3–5 лин/мм.

Такая структура может использоваться в качестве активного элемента пространственно-временного модулятора света (ПВМС) с быстродействием $\nu = 10^4$ цикл/с, существенно превосходящим промышленные аналоги на структурах фотопроводник-жидкий кристалл (ФП-ЖК) с $\nu = 10^2 - 10^3$ с [6].

Список литературы

- [1] Мездрогина М.М., Голикова О.А., Казанин М.М., Бардаמיד А.Ф. // Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы. 1991. С. 686–691.
- [2] Матвеев О.А., Аркадьева Е.И., Гончаров Л.А. // ДАН СССР. 1975. В. 221. С. 321.
- [3] Кашерининов П.Г. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 10. С. 1888.
- [4] Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Методы модуляции и сканирования света. М.: Наука, 1970. С. 295.
- [5] Кашерининов П.Г., Кичаев А.В., Кузьмин С.Л., Ярощецкий И.Д. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 9. С. 55–58.
- [6] Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. С. 83.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
3 сентября 1993 г.
В окончательной редакции
4 марта 1994 г.