

06.1;06.2

Гетеропереходы оксид-*p*-InSe на ориентированной (110) подложке кристалла

© В.Н. Катеринчук, З.Д. Ковалюк, Т.В. Беца,
В.М. Каминский, В.В. Нетяга

Институт проблем материаловедения НАН Украины, Черновцы

Поступило в Редакцию 28 июля 2000 г.

В окончательной редакции 9 января 2001 г.

Исследованы фотоэлектрические свойства гетероперехода (ГП) оксид-*p*-InSe, сформированного в плоскости, параллельной кристаллографической оси **C**. ГП изготовлены термическим окислением кристаллической подложки InSe. Влияния поверхностных рекомбинационных эффектов на свойства ГП не обнаружено, что следует из исследований спектров fotocувствительности. Из вольт-фарадных характеристик (ВФХ) определено, что тип *p-n*-перехода резкий, а величина энергетического барьера составляет 0.17 V. Установлено также, что протекание тока через барьер ГП описывается в рамках диодной теории, а диодный коэффициент вольт-амперной характеристики (ВАХ) близкий к единице.

Широкое использование поляризованного и лазерного излучения в технике обуславливает поиск высокоэффективных анализаторов поляризованного излучения. В качестве таких анализаторов могут использоваться анизотропные кристаллы [1]. Среди них полупроводники со слоистой кристаллической структурой типа $A^{III}B^{VI}$, и в частности, моноселенид индия InSe. Полупроводниковое соединение InSe благодаря существованию двух типов химической связи атомов в нем: преимущественно ковалентной и ван-дер-ваальсового типа, — имеет ярко выраженную слоистую кристаллическую структуру и проявляет анизотропные свойства.

В данной работе впервые удалось сформировать ГП оксид-*p*-InSe в плоскости, параллельной кристаллографической оси **C**, т. е. в плоскости, обладающей выраженным фотоплекроизмом, и исследовать фотоэлектрические свойства.

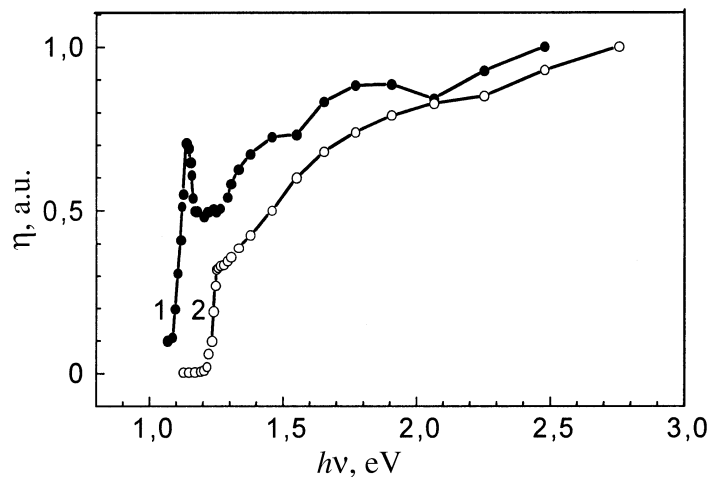


Рис. 1. Спектральная зависимость квантовой эффективности фототока гетеропереходов оксид-*p*-InSe с разной ориентацией к освещению 1 — $E \parallel C$; 2 — $E \perp C$ (E — вектор электрического поля световой волны). $T = 295$ К.

Слитки кристаллов γ -InSe ($R\bar{3}m$) выращивались методом Бриджмена. Для получения фоточувствительных образцов кристаллы InSe легировались примесью кадмия и имели дырочный тип проводимости. Рентгенографически определялись основные кристаллографические направления [100] и [110] пластин InSe, сколотых из слитка, для получения необходимых срезов образцов этих кристаллов. В фотоэлектрических измерениях использовалась кристаллографическая плоскость (110) InSe. Образцы с (110) поверхностью подвергались только химической обработке. Отклонение основания полученной поверхности InSe от кристаллографической плоскости (110) не превышало 3.5° . ГП оксид-*p*-InSe готовились методом, описанным в [2]. Для контактов использовался чистый индий, который расплавленным хорошо смачивался к поверхности образцов. В низкотемпературных измерениях использовался криостат, точность поддержания температуры в котором составила $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

Для качественного подтверждения степени совершенства используемой (110) поверхности кристалла (ее положение $\parallel C$) снимались спектры фоточувствительности ГП оксид-*p*-InSe как от данной обработанной поверхности, так и со стороны естественной сколотой ($\perp C$) по-

верхности (001). Освещение образцов проводилось неполяризованным светом. Для сравнения на рис. 1 показаны такие спектры. Хорошо видно, что в обоих случаях в коротковолновой части спектров нет падения квантовой эффективности фототока, которое обычно связывается с рекомбинационными поверхностными эффектами [3]. Позитивная роль оксида в том, что $p-n$ -переход смещается в глубь кристалла и его свойства определяются объемными свойствами кристалла.

Поскольку протекание тока в исследуемом ГП происходит в направлении плоскости слоев кристалла, то анализировался механизм протекания тока в ГП с указанной его ориентацией относительно оси C . Известно, что в направлении слоев подвижность основных носителей в InSe достигает значений $\approx 1000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, в то время как перпендикулярно слоям — несколько десятков единиц подвижности [4]. Кроме этого были проведены измерения ВФХ для установления типа $p-n$ -перехода и определения высоты барьера.

На рис. 2 показаны ВФХ. В координатах $C^{-2}-U$ они линейны, что свидетельствует о резком типе $p-n$ -перехода. Особенностью измеренных ВФХ есть то, что при различных частотах тестирующего сигнала емкостное напряжение отсечки не постоянно. Это обусловлено влиянием на измерения емкости последовательного сопротивления ГП, которое включает нейтральную объемную часть InSe и приконтактные

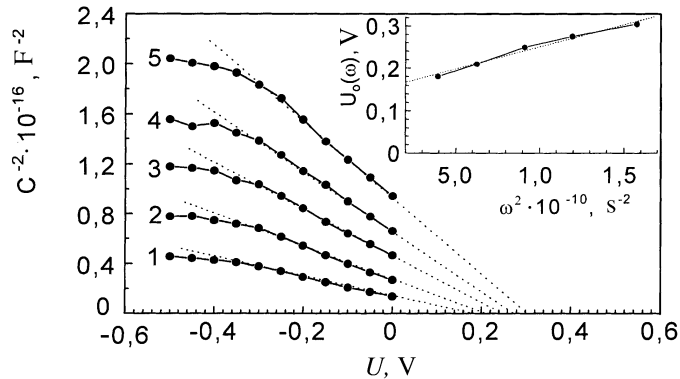


Рис. 2. Вольт-фарадные характеристики гетероперехода оксид- p -InSe ($p-n$ -переход $\parallel C$) при различных частотах: 1 — 10; 2 — 12.6; 3 — 15.2; 4 — 17.4; 5 — 20 kHz. На вставке — частотная зависимость емкостных напряжений отсечки. $T = 295 \text{ K}$.

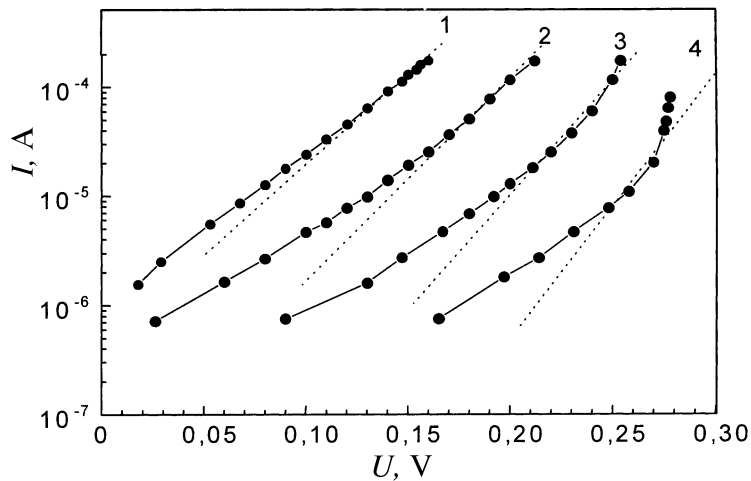


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики гетероперехода оксид-*p*-InSe (*p*-*n*-переход \parallel *C*) при различных температурах: 1 — 300; 2 — 270; 3 — 240; 4 — 210 К. Пунктиром показаны расчетные ВАХ идеальных диодов.

области [5,6]. Для корректного определения величины барьерного потенциала полученные напряжения отсечек при различных частотах аппроксимировались зависимостью $U_0(\omega) - \omega^2$ к нулевой частоте. Такая зависимость показана на вставке к рис. 2. Величина барьерного потенциала исследованного ГП составила 0.17 V и такую же величину максимального напряжения холостого хода получали при освещении ГП. Данное значение может быть использовано для построения зонной энергетической диаграммы ГП. Отметим также, что данное значение барьерного потенциала значительно ниже от аналогичной величины, измеренной для ГП оксид-*p*-InSe в плоскости, перпендикулярной *C*. В последнем случае диффузионный потенциал равнялся 0.5 V [7].

На рис. 3 показаны ВАХ ГП оксид-*p*-InSe, измеренные при различных температурах. Из представленных ВАХ следует, что в верхней части ветвей ВАХ их наклон меняется с изменением температуры, а экспоненциальная зависимость тока от напряжения описывается одним и тем же диодным коэффициентом $n \cong 1$. Однако, как видно с рис. 3, представленные зависимости ВАХ наблюдаются уже при

напряжениях ≈ 0.1 V, т.е. при малых значениях прямых напряжений. Если сравнить теоретические зависимости ВАХ идеальных диодов в диффузионной и диодной теориях $p-n$ -перехода, то измеренные ВАХ характерны для диодного механизма протекания тока через $p-n$ -переход, в отличие от диффузионного, для которого характерны значительно большие прямые напряжения наблюдения идеальной диодной ВАХ. Подтверждением диодного механизма протекания тока в ГП оксид- p -InSe служит также сравнение величины диффузионной длины носителей заряда в двух кристаллографических направлениях. Методом светового зонда экспериментально измеренные значения диффузионной длины неравновесных носителей $L_{\perp C}$ для p -InSe составляют ~ 180 μm . В случае гетероперехода оксид- p -InSe перпендикулярного C , когда ток течет поперек слоев, механизм протекания тока — диффузионный [7], а длина диффузионного смещения составляет 3–5 μm [8].

Таким образом, показано, что в гетеропереходах оксид- p -InSe механизм протекания тока зависит от кристаллографической ориентации плоскости кристалла, в которой формируется $p-n$ -переход: в плоскости $\parallel C$ — диодный, а в плоскости $\perp C$ — диффузионный. Полученные данные свидетельствуют о возможности формирования качественных ГП на основе анизотропного кристалла InSe и важны с точки зрения проектирования фоточувствительных приемников как естественного, так и поляризованного излучений.

Список литературы

- [1] Мехтиев Н.М., Рудь Ю.В., Салаев Е.Ю. // ФТП. 1978. Т. 12. С. 1566.
- [2] Катеринчук В.Н., Ковалюк М.З. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. С. 70.
- [3] Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. Кн. 2. М.: Мир, 1984. Гл. 14. С. 404.
- [4] Shigetomi S., Ikari T., Koga Y., Shigetomi S. // Jap. J. Appl. Phys. 1981. V. 20. P. L343.
- [5] Goodman A.M. // J. Appl. Phys. 1963. V. 34. P. 329.
- [6] Гольдберг Ю.А., Иванова О.В., Львова Т.В., Царенков Б.В. // ФТП. 1984. Т. 18. С. 1472.
- [7] Катеринчук В.Н., Ковалюк З.Д., Заслонкин А.В. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. С. 34.
- [8] Shigetomi S., Ikari T., Koga Y., Shigetomi S. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. P. 1271.