

К. ф.-м. н. В. Н. КАТЕРИНЧУК, М. З. КОВАЛЮК

Украина, г. Черновцы, ЧО Ин-та проблем материаловедения
им. И. Н. Францевича
E-mail: chimsp@unicom.cv.ua

Дата поступления в редакцию
17.01.2006 г.

Оппонент д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ
(Ин-т термоэлектричества, г. Черновцы)

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$ ($0 \leq x \leq 1$)

Методом оптического контакта полупроводников изготовлены гетеропереходы $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$. Анализ электрических свойств свидетельствует, что они соответствуют диодам с идеальными характеристиками.

Для кристаллов со слоистой кристаллической структурой наиболее простым методом создания гетеропереходов является метод посадки на оптический контакт [1]. Он позволяет изготавливать образцы гетеропереходов соприкосновением свежеотколотых на воздухе пластин из разных соединений кристаллов при комнатной температуре.

Если для двух полупроводников необходим подбор идентичных кристаллических решеток, их постоянных и коэффициентов линейного расширения [2], то в случае слоистых кристаллов качественные гетеропереходы можно получить даже тогда, когда эти параметры сильно отличаются друг от друга [3–5]. Это позволяет создавать новые гетеропереходы с отличительными фотоэлектрическими свойствами, открывающими возможность получения более высоких удельных характеристик.

В настоящей работе исследованы фотоэлектрические параметры гетероперехода $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$ в зависимости от величины x ($0 \leq x \leq 1$), где x определяет состав твердых растворов $\text{SnS}_2\text{-SnSe}_2$.

Эксперимент

Кристаллы $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$ выращивались методом химических транспортных реакций. Для этого в вакуумированной ампуле на одном ее конце помещалось соответствующее синтезированное соединение. Температурное градиентное поле и переносчик вещества йод создавали условия роста кристаллов на другом конце ампулы. Кристаллы получались в виде хаотически ориентированных по ампуле пластин различных размеров. Все пластинки обладали зеркальной поверхностью. Из эффекта Холла установлено, что при $x=0$, $x=0,1$ образцы имели n -тип проводимости с концентрацией основных носителей тока $n \approx 10^{16} \dots 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и их подвижностью $\mu_{\perp C} \approx 20 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, где C — кристаллографическая ось, совпадающая с нормалью к плоскости слоя. Удельное сопротивление соединений $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$ при больших значениях x отличалось более высокими значениями.

Кристаллы InSe p -типа проводимости выращивались вертикальным методом Бриджмена. Слитки кри-

сталлов имели в диаметре 16–18 мм, а длину — 6–10 см. Благодаря слоистой структуре тонкие пластины из этих слитков вырезались с помощью бритвенного лезвия. Дополнительное отщепление слоев с помощью липкой ленты позволяло получать образцы с зеркальной поверхностью без царапин и других ее повреждений. Поскольку специально не легированные кристаллы имеют всегда n -тип проводимости, то для его изменения они легировались примесью кадмия в количестве 0,1–0,5 мас.%. Холловские измерения позволили определить, что концентрация основных носителей тока составляет $p \approx 5 \cdot 10^{14} \dots 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а их подвижность $\mu_{\perp C} \approx 80 \dots 100 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Свежеотколотые пластины $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$ и InSe приводились в тесный механический контакт. Удержание этих разнородных пластин аналогично связи слоев в каждом из слоистых кристаллов, которое обеспечивается ван-дер-ваальсовыми силами. Для широкозонного фронтального полупроводника использовались тонкие (20–30 мкм) пластины $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$, в качестве базового $p\text{-InSe}$ — толщиной 200–400 мкм. Для токовых контактов применялся чистый индий. Площадь изготовленных образцов составляла 0,08–0,12 см^2 .

Спектры фоточувствительности изготовленных гетеропереходов исследовались с помощью монохроматора МДР-3 с разрешающей способностью 2,6 нм/мм. Все спектры нормировались относительно количества падающих фотонов.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) и вольт-фарадные характеристики (ВФХ) гетеропереходов исследовались на установке Schlumberger SI 1255 с компьютерным интерфейсом. Все измерения проводились при комнатной температуре. Температурные зависимости ВАХ исследовались также с помощью фотоэлектрической методики ее измерения (фото-эдс от фототока насыщения).

Результаты исследований

Спектральные зависимости квантовой эффективности фототока η исследуемых гетеропереходов показаны на рис. 1. Полоса фоточувствительности гетероперехода определяется поглощением света в соответствующих полупроводниках. Длинноволновый край спектра различных гетеропереходов во всех случаях обусловлен поглощением света в InSe , ширина запрещенной зоны которого E_g при комнатной температуре равна 1,2 эВ [6]. Широкозонный фронтальный полупроводник не препятствует прохождению света

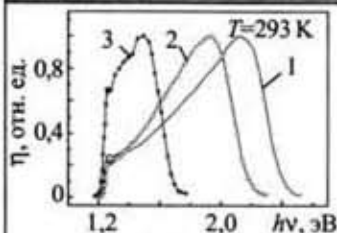


Рис. 1. Спектр квантовой эффективности фототока гетероперехода $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$: 1 — $x=0$; 2 — $x=0.4$; 3 — $x=1$

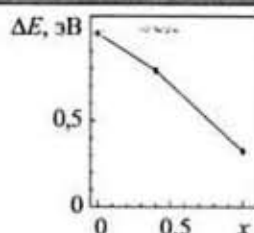


Рис. 2. Зависимость ширины полосы fotocувствительности от величины x

до тех пор, пока энергия квантов $h\nu$ не достигнет величины E_g $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$. В этом случае свет поглощается в приповерхностной области, не доходит до границы гетероперехода, и разделение фотогенерированных носителей прекращается. Отметим, что ширина запрещенной зоны твердого раствора может изменяться от 0,97 эВ для SnSe_2 до 2,07 эВ для SnS_2 [7].

На рис. 2 показана зависимость величины полосы fotocувствительности ΔE от состава x твердого раствора $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$. Хорошо видно, что изменением x можно создавать селективные фотоприемники различной полосы fotocувствительности.

Фотоэлектрические параметры гетеропереходов $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$ при $T=293$ К приведены в таблице (U_{xx} — напряжение холостого хода, $I_{кс}$ — ток короткого замыкания).

Параметры гетеропереходов

x	U_{xx} , В	$I_{кс}$, мА/см ²	ϕ_b , эВ	ΔE , эВ
0	0,5	6,8	0,75	1
0,4	0,33—0,35	1,25	0,35	0,8
0,5	0,3—0,35	1,0	0,35	—
1	0,34—0,4	0,33	0,4	0,32

Результаты измерений емкости C гетеропереходов показали, что в координатах $1/C^2$ от U они имеют линейный характер. Это свидетельствует о резком типе всех созданных p - n -переходов. Найденные из ВФХ значения высоты потенциального барьера ϕ_b позволили качественно проанализировать энергетическую диаграмму гетеропереходов. Вследствие различия в концентрациях носителей полупроводников обедненная область и весь изгиб энергетических зон приходится на более высокоомный InSe . Во всех случаях исследованных гетеропереходов $\phi_b < E_g/2$ при $x > 0$ (см. табл.). Однако для $x=0$, наоборот, $\phi_b > E_g/2$. В этом случае мы имеем ситуацию возникновения инверсионного слоя у межфазной границы гетероперехода и смещения p - n -перехода вглубь InSe . Более детально характеристики гетеропереходов с большим потенциальным барьером рассмотрены в работе [8]. Найденные значения ϕ_b хорошо согласуются с измерениями фото-зс насыщения гетеропереходов, которые также приведены в таблице.

Качество изготовленных гетеропереходов проверялось на основании температурных измерений их ВАХ. В качестве примера на рис. 3 представлены ВАХ гетероперехода $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$ при $x=1$. Из рисунка видно, что существуют два линейных участка на кривых $I(U)$, отложенных в полулогарифмических координатах. Первый из них, протяженный, характеризуется диодным коэффициентом ВАХ (n), значительно превышающим единицу. Этот участок ВАХ гетероперехода

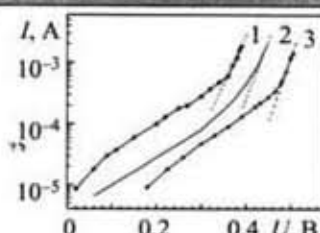


Рис. 3. Температурные зависимости ВАХ гетеропереходов $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$ для $x=1$: 1 — 300 К; 2 — 270 К; 3 — 240 К

обычно связывают с токами утечек [9], поскольку ему соответствуют низкие значения тока, и наклон ВАХ, который определяет само значение n , зависит от тщательности приготовления образцов. Для второго — короткого участка ВАХ экспериментальные точки сопоставлены с теоретически рассчитанными ВАХ идеальных диодов (пунктирная линия), для которых $n=1$ [10].

Хорошо видно качественное совпадение этих кривых. Это позволяет заключить, что начиная с некоторого напряжения прямой диффузионный ток через гетеропереход начинает превосходить токи утечек из-за различной экспоненциальной зависимости этих токов. Поэтому основным механизмом протекания тока через гетеропереход SnSSe-InSe следует считать диффузионный. Аналогичные ВАХ характерны и для гетеропереходов $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$ с другими значениями x .

Выводы

Методом оптического контакта полупроводников изготовлены гетеропереходы $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x\text{-InSe}$. Твердые растворы $\text{SnS}_2\text{-SnSe}_2$ способствуют получению кристаллов с различной шириной запрещенной зоны: от 1,48 до 2,12 эВ при $0 \leq x \leq 1$. Используемые в качестве широкозонного окна гетероперехода они изменяют его фотоотклик до нужной ширины полосы fotocувствительности.

Анализ электрических свойств полученных гетеропереходов свидетельствует, что они соответствуют диодам с идеальными характеристиками: p - n -переход имеет резкий характер, а экспоненциальная зависимость тока от напряжения описывается диодным коэффициентом $n=1$ при $U > 0,35$ В.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бакуменко В. Л., Чижко В. Ф. Электрические свойства оптических контактов слоистых полупроводников // ФТП. — 1977. — Т. 11, № 10. — С. 2000—2002.
2. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл—полупроводник. — М.: Мир, 1975.
3. Катеринчук В. Н., Ковалюк М. З., Огородник А. Д. Гетероструктуры на основе селенидов индия // Неорг. материалы. — 1996. — Т. 32, № 8. — С. 937—940.
4. Катеринчук В. Н., Ковалюк М. З. Гетеропереходы на основе GaTe // Письма в ЖТФ. — 1999. — Т. 25, № 2. — С. 29—33.
5. Катеринчук В. М., Ковалюк З. Д., Товарищук М. В. Гетеропереход GaSe-InSe с свойствами структур напівпровідник—тонкий діелектрик—напівпровідник // УФЖ. — 2000. — Т. 45, № 1. — С. 87—91.
6. Landolt-Börnstein. Numerical data and functional relationships in science and technology. New ser. Group III: Crystal and solid state physics. Vol. 17, sv.f / Ed. by O. Madelung. — Berlin e. a.: Springer, 1983.
7. Domingo G., Itoga R. S., Kannewurf C. R. Fundamental optical absorption in SnS_2 and SnSe_2 // Phys. Rev. — 1966. — Vol. 143, N. 2. — P. 536—541.
8. Катеринчук В. Н., Ковалюк М. З. Photoelectric properties of $n\text{-SnS}_2\text{-p-InSe}$ heterojunction // J. Advanced Materials. — 1997. — Vol. 4, N 1. — P. 40—43.
9. Манассон В. А., Малик А. И., Баранюк В. Б. Эффективный солнечный элемент для работы при низких уровнях освещенности // Письма в ЖТФ. — 1981. — Т. 7, № 9. — С. 549—552.
10. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 2. — М.: Мир, 1984.