

06;12

Изготовление и исследование гетеропереходов $\text{SnO}_2\text{--As}_2(\text{Se}_{0.9}\text{Te}_{0.1})_3$ и $\text{SnO}_2\text{--}(\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{0.33})_2\text{Se}_3$

© И.П. Аржанухина, К.П. Корнев, Ю.В. Селезнев

Калининградский государственный университет,
236041 Калининград, Россия

(Поступило в Редакцию 26 ноября 1997 г.)

Описана методика изготовления и результаты исследования гетеропереходов $\text{SnO}_2\text{--As}_2(\text{Se}_{0.9}\text{Te}_{0.1})_3$ и $\text{SnO}_2\text{--}(\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{0.33})_2\text{Se}_3$. Представлены спектральные и вольт-амперные характеристики полученных гетеропереходов.

Введение

Для полупроводниковой электроники является актуальным поиск новых структур, на основе которых могут быть созданы разновидности полупроводниковых приборов, в частности фотоприемников, работающих в различных частях спектра. Одним из типов таких структур являются гетероструктуры на основе аморфных материалов, в том числе и на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП). Полупроводниковые гетеропереходы находятся в фокусе активных исследований в течение последнего времени. Технология гетероструктур, по-видимому, будет играть важную роль на растущем рынке микроэлектроники [1]. Халькогенидные стеклообразные полупроводники как материалы интересны для использования в электронике, так как их свойства могут быть целенаправленно изменены плавным изменением сочетания компонент в соединении.

Целью данной работы было изготовление и исследование характеристик гетеропереходов $\text{SnO}_2\text{--As}_2(\text{Se}_{0.9}\text{Te}_{0.1})_3$ и $\text{SnO}_2\text{--}(\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{0.33})_2\text{Se}_3$.

Изготовление образцов и методика измерений

Для исследования были изготовлены образцы, структура которых приведена на рис. 1. На стеклянную подложку размером $13 \times 13 \text{ mm}$ с помощью масок в вакууме при комнатной температуре напылялся слой олова. Затем напыленные структуры нагревались в атмосфере кислорода до температуры примерно 700 К. При этом получалось 2 электрода из прозрачной (в видимой части спектра) проводящей пленки двуокиси олова с *n*-типом проводимости и шириной запрещенной зоны 4.0 eV для прямых переходов и 2.8 eV для непрямых переходов [2]. Энергия ионизации донорных центров, которая связана с наличием кислородных вакансий, составляла 0.07 eV [2,3]. Затем при комнатной температуре на полученные электроды при помощи различных масок последовательно напылялись слои халькогенидного стеклообразного полупроводника и алюминия, частично перекрывающие друг друга (рис. 1).

Освещение образца проводилось со стороны стеклянной подложки через прозрачный электрод из двуокиси олова. Вторым электродом служил слой алюминия. Между электродами из Al и SnO_2 подавалось напряжение, полярность которого определялась знаком напряжения на SnO_2 .

Измерения проводились на специально созданной установке, позволяющей измерять фототок образца в области спектра с длиной волны от $\lambda = 0.4$ до $1.2 \mu\text{m}$, со спектральной шириной щели от $\delta\lambda = 0.002 \mu\text{m}$ для коротковолновой части спектра до $\Delta\lambda = 0.008 \mu\text{m}$ для длинноволновой части спектра. Минимальный измеряемый ток 10^{-12} А. Предел возможного изменения напряжения, подаваемого на образец, от +100 до -100 В. Для образцов обоих типов были измерены темновые ВАХ и ВАХ, полученные при освещении образца светом в области максимальной чувствительности (световые ВАХ). Спектральные характеристики фоточувствительности (СХФ) измерялись при обеих полярностях напряжения, подаваемого на образец. Для получения СХФ измерялась зависимость фототока образца от длины волны падающего света в диапазоне длин волн от 400 до 900 nm с шагом 25 nm. По измеренной зависимости определялась спектральная чувствительность образца по формуле

$$S(\lambda) = J_{\text{ph}}(\lambda)/I(\lambda),$$

где $J_{\text{ph}}(\lambda)$ — фототок образца в амперах, $I(\lambda)$ — мощность лампы в ваттах в интервале длин волн $\Delta\lambda$.

Величина фототока определялась по падению напряжения на известном сопротивлении.

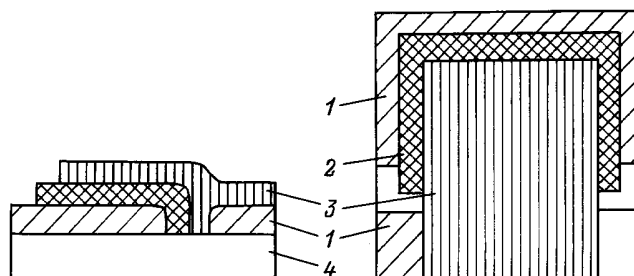


Рис. 1. Структура образца: 1 — SnO_2 , 2 — ХСП, 3 — Al, 4 — подложка.

Результаты и обсуждение

Вольт-амперные характеристики для образцов на основе обоих составов нелинейны и несимметричны. Как для темновых, так и для световых ВАХ, измеренных в области максимальной чувствительности, ток при положительной полярности существенно больше тока при отрицательной полярности собирающего электрода из двуокиси олова. На границе раздела металл–полупроводник образуется потенциальный барьер для дырок (рис. 2), которые являются основными носителями в ХСП [4]. При положительной полярности на собирающем электроде величина барьера уменьшается и большее количество дырок может попасть из ХСП в алюминий. При противоположном смещении величина барьера для дырок, эмиттированных из алюминия, уменьшается с ростом напряжения, ток увеличивается, но в меньшей степени, поскольку на границе раздела ХСП– SnO_2 существует барьер для дырок. В этом случае ток через структуру будет определяться скоростью рекомбинации дырок и электронов вблизи границы ХСП– SnO_2 . Следовательно, с ростом напряжения ток при положительной полярности на собирающем электроде должен нарастать быстрее, чем при отрицательной полярности, что и наблюдается на рис. 3, где приведены ВАХ для гетероструктур на основе $(\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{0.33})_2\text{Se}_3$. Аналогичный вид имеют ВАХ для образцов, изготовленных на основе $\text{As}_2(\text{Se}_{0.9}\text{Te}_{0.1})_3$.

Спектральные характеристики fotocувствительности $S(\lambda)$ для гетероструктуры на основе $\text{As}_2(\text{Se}_{0.9}\text{Te}_{0.1})_3$ при отрицательной полярности собирающего электрода и при толщине пленки ХСП $d = 7 \mu\text{m}$ приведены на рис. 4. Как видно, область чувствительности структуры — от $\lambda = 0.47$ до $0.71 \mu\text{m}$ по уровню 0.1 от максимального значения S_{max} с максимумом при $\lambda = 0.58 \mu\text{m}$. При толщине пленки $d = 1 \mu\text{m}$ область чувствительности располагается от $\lambda = 0.4$ до $0.7 \mu\text{m}$ с максимумом при $\lambda = 0.53 \mu\text{m}$, а при толщине $d = 10 \mu\text{m}$ — от $\lambda = 0.53$ до $0.76 \mu\text{m}$ с максимумом при $\lambda = 0.65 \mu\text{m}$.

При положительной полярности на собирающем электроде область спектральной чувствительности расположена в более коротковолновой части спектра относительно кривых, полученных для отрицательной полярности,

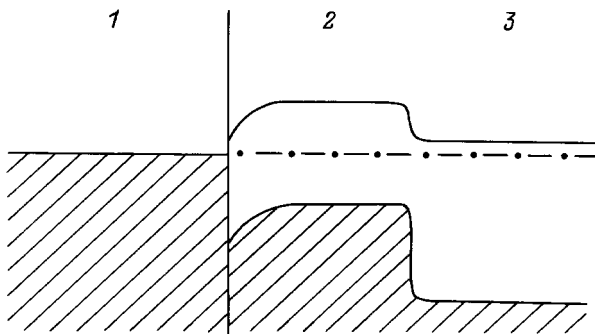


Рис. 2. Зонная диаграмма гетероперехода: 1 — Al, 2 — ХСП, 3 — SnO_2 .

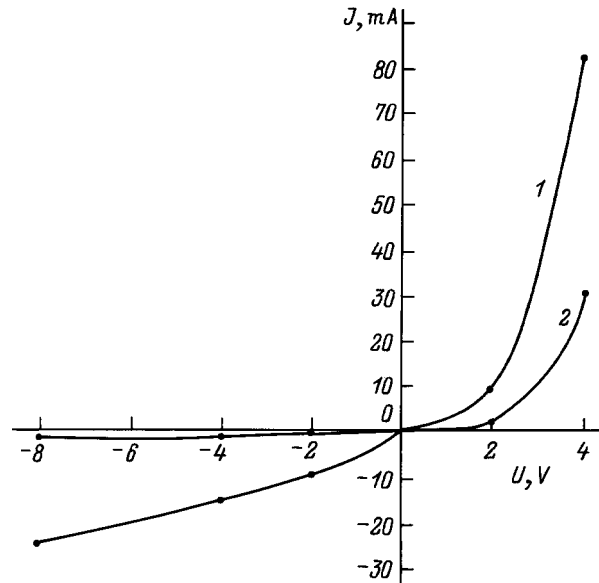


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики гетероструктуры на основе $(\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{0.33})_2\text{Se}_3$: 1 — световая, 2 — темновая.

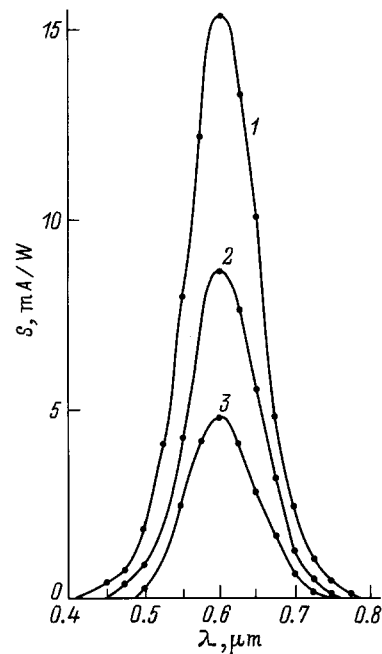


Рис. 4. Спектральные характеристики гетероструктуры на основе $\text{As}_2(\text{Se}_{0.9}\text{Te}_{0.1})_3$: 1 — 8В, 2 — 4В, 3 — 2В.

но при этом длинноволновый край кривых при обеих полярностях совпадает.

Для гетероструктур на основе $(\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{0.33})_2\text{Se}_3$ при отрицательной полярности область спектральной чувствительности по уровню 0.1 от максимального значения располагается в диапазоне длин волн от $\lambda = 0.515$ до $0.730 \mu\text{m}$ с максимумом при $\lambda = 0.65 \mu\text{m}$ ($d = 1 \mu\text{m}$), от $\lambda = 0.575$ до $0.725 \mu\text{m}$ с максимумом при $\lambda = 0.625 \mu\text{m}$ ($d = 10 \mu\text{m}$).

При положительной полярности в области исследованных длин волн наблюдается только длинноволновая часть СХФ. Сдвиг максимума СХФ составляет 0.5 eV. Как отмечалось выше, на границе между Al и слоем ХСП существует потенциальный барьер для дырок, величина которого для данных составов, как показали фотоэмиссионные измерения [5], равна приблизительно 0.6 eV. Наличие сдвига максимума спектральной чувствительности в область больших энергий квантов при положительной полярности напряжения на SnO_2 является дополнительным подтверждением существования потенциального барьера. Чем больше энергия квантов поглощенного света, тем меньше глубина их проникновения, тем ближе к поверхностному барьеру поглощается основная их доля и тем больше при этом средняя энергия фотогенерированных дырок. Поэтому с увеличением энергии квантов света появляется больше дырок, способных преодолеть потенциальный барьер. Это приводит к тому, что максимум СХФ при положительном напряжении смещается в более коротковолновую область спектра относительно максимума при отрицательном напряжении. При отрицательном напряжении на SnO_2 фотогенерированным дыркам не надо преодолевать указанный выше потенциальный барьер, поэтому в этом случае положение максимума фоточувствительности определяется шириной запрещенной зоны ХСП.

Выводы

1. Изготовлены и исследованы образцы на основе гетеропереходов $\text{SnO}_2\text{--As}_2(\text{Se}_{0.9}\text{Te}_{0.1})_3$ и $\text{SnO}_2\text{--}(\text{As}_{0.67}\text{Sb}_{0.33})_2\text{Se}_3$.
2. Измерены спектральные и вольт-амперные характеристики.
3. Вольт-амперные характеристики нелинейны и несимметричны.
4. Определена область спектральной чувствительности, найдено значение максимальной чувствительности для гетеропереходов обоих типов.
5. Получено, что при положительной полярности максимум СХФ сминут в область больших энергий квантов света.

Список литературы

- [1] Venkataraman V. // Current Sci. 1994. Vol. 64. N 11. P. 855–858.
- [2] Дзюркевич И.Ю., Корнев К.П. // Методы и устройства магнитных измерений и контроля. Омск: Изд-во ОПИ, 1977. С. 48–52.
- [3] Soni H.S., Sathage S.D., Sinka A.P.B. // Indian J. Pure and Appl. Phys. 1983. Vol. 21. P. 197–204.
- [4] Сарсембинов Ш.Ш., Приходько О.Ю., Мальтекбаев М.Ж. и др. // ФТП. 1991. Т. 25. Вып. 3. С. 564–566.
- [5] Кочемировский А.С., Корнев К.П. // Стеклообразные полупроводники. Л.: Изд-во ФТИ, 1985. С. 80–81.