

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНТАКТА МОДИФИЦИРОВАННОЙ— НЕМОДИФИЦИРОВАННОЙ СТЕКЛООБРАЗНОЙ As_2Se_3

Аверьянов В. Л., Звонарева Т. К., Любин В. М.

Исследованы темновые вольт-амперные характеристики пленочных структур типа $Al-As_2Se_3 <Ni> - As_2Se_3 - Al$, содержащих гетеропереход между модифицированным и немодифицированным стеклообразным As_2Se_3 . Показано, что в отличие от большинства изученных контактов стеклообразного As_2Se_3 с другими прослойками в немодифицированном слое As_2Se_3 в данной структуре возникает область обогащения носителями заряда, имеющая ширину $1.5 \div 2$ мкм, что обеспечивает низкоомность структуры.

В результате модифицирования переходными металлами халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) существенно меняются их электрические свойства при слабом изменении оптических свойств [1]. Это обстоятельство открывает широкие возможности практического использования модифицированных халькогенидных стеклообразных полупроводников (МХСП). Однако важные для практики контактные свойства МХСП до сих пор не изучались.

В настоящей работе приводятся первые результаты исследования контактных явлений в МХСП, проявляющихся при изучении особенностей вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур МХСП—металл и гетероструктур МХСП—ХСП. В качестве ХСП использовался трехселенистый мышьяк As_2Se_3 , модифицированный разными металлами, пленки которого были подробно изучены в работе [1]. Пленки получались методом термического испарения в вакууме при давлении 10^{-5} мм рт. ст. Модифицированные пленки $As_2Se_3 <Ni>$ готовились методом высокочастотного ионно-плазменного сораспыления стеклообразного As_2Se_3 и Ni в атмосфере Ag при давлении $8 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. Концентрация Ni в образцах составляла 5—7 ат%. Модифицированные пленки напылялись толщиной 0.5 мкм, а толщина немодифицированных пленок варьировалась в пределах 0.4—7.0 мкм. Нижний и верхний электроды приготавливали испарением в вакууме Al или Au, причем рабочая площадь полученных таким образом сэндвич-структур составляла $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ см².

На рис. 1 представлены типичные ВАХ структур Al (Au)— $As_2Se_3 <Ni> - Al$ (кривые 3, 6). Видно, что ВАХ симметричны и что для структуры с нижним Al-электродом (кривая 3) токи на 3 порядка меньше, чем в структуре с нижним Au-электродом (кривая 6). Наблюдаемая разница в токах, вероятнее всего, связана с существованием тонкой прослойки окисла на нижнем Al-электроде. По оценке, сделанной в работе [2], слой Al_2O_3 , нарастающий во время хранения Al-электрода на воздухе, имеет толщину около 10 нм.

На рис. 1 показана также ВАХ структуры Al— $As_2Se_3 <Ni> - As_2Se_3 - Al$ (кривая 1), характерная тем, что ток при отрицательной полярности напряжения больше, чем при положительной. Структура с другой последовательностью нанесения пленок Al— $As_2Se_3 - As_2Se_3 <Ni> - Al$ характеризуется большими значениями тока при положительной полярности напряжения (кривая 2). Замена в двухслойной структуре Al-электрода к As_2Se_3 на Au приводит к тому, что ВАХ становится

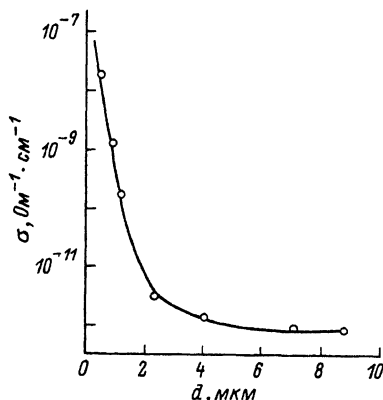
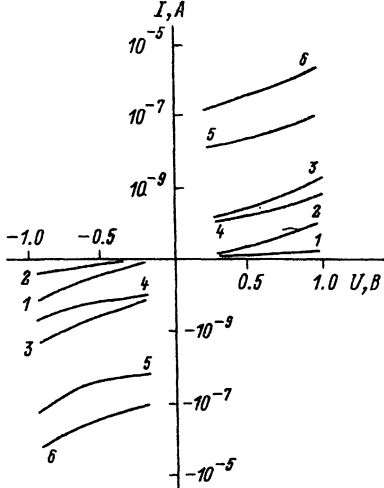


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики структур.

1 — Al—As₂Se₃ (Ni)—Al₂Se₃—Al, 2 — Al—As₂Se₃—As₂Se₃ (Ni)—Al, 3 — Al—As₂Se₃ (Ni)—Al, 4 — Al—As₂Se₃ (Ni)—As₂Se₃—Au, 5 — Al—As₂Se₃ (Ni)—As₂Se₃—As₂Se₃ (Ni)—Al, 6 — Au—As₂Se₃ (Ni)—Al. Знак напряжения соответствует полярности верхнего электрода. Толщина слоя As₂Se₃ равна 0.7 мкм.

Рис. 2. Зависимость проводимости структуры Al—As₂Se₃ (Ni)—As₂Se₃—As₂Se₃ (Ni)—Al от толщины слоя As₂Se₃.

почти симметричной (кривая 4). Обращает на себя внимание тот факт, что во всех двухслойных структурах, содержащих переход As₂Se₃—As₂Se₃ <Ni>, наблюдается протекание сравнительно больших токов порядка 10⁻⁹—10⁻¹⁰ А, в то время как для немодифицированных пленок As₂Se₃ при той же площади электродов характерны значительно меньшие токи, порядка 10⁻¹¹—10⁻¹² А [3].

На рис. 1 (кривая 5) показана ВАХ трехслойной структуры типа Al—As₂Se₃ <Ni>—As₂Se₃—As₂Se₃ <Ni>—Al. ВАХ такой структуры симметричны. При значении поля $E = 10^3$ В/см проводимость структуры составляет $\sigma \approx 10^{-6}$ Ом⁻¹·см⁻¹. Увеличение толщины слоя As₂Se₃ от 0.5 до 4 мкм при неизменных толщинах слоев As₂Se₃ <Ni> вызывает уменьшение проводимости структуры. При толщине слоя As₂Se₃ 4 мкм (рис. 2) проводимость структуры принимает значение, равное значению проводимости слоя As₂Se₃. Дальнейшее увеличение толщины слоя As₂Se₃ (свыше 4 мкм) не оказывает заметного влияния на проводимость структуры.

Известно [3-7], что алюминиевые электроды образуют с As₂Se₃ блокирующие контакты, причем ширина области обеднения порядка 10⁻⁵ см [8, 9]. Тот факт, что Al не проявляет себя как блокирующий контакт для слоя As₂Se₃ <Ni> (рис. 1, кривые 3, 6), можно объяснить следующим образом. При модифицировании As₂Se₃ примесные атомы Ni создают в запрещенной зоне As₂Se₃ примесные центры. Ионизация этих центров приводит к появлению примесной проводимости, увеличению проводимости, уменьшению ее энергии активации, смещению уровня Ферми от середины запрещенной зоны [1]. Так, при введении 5—7 ат% Ni в As₂Se₃ происходит увеличение проводимости до 10⁸—10⁹ раз. Концентрация электрически активных атомов примеси для того, чтобы существенно изменить проводимость As₂Se₃, должна быть не меньше концентрации собственных дефектов, которая для As₂Se₃ равна 10¹⁸ см⁻³ [10] и при концентрации 5—7 ат% Ni в As₂Se₃, вероятно, составляет 10²⁰—10²¹ см⁻³. При таком уровне концентрации примеси ширина обедненного слоя становится настолько узкой (~100 Å), что возможен туннельный переход зарядов [11] и контакт приобретает омический характер.

Особенности поведения двойных гетероструктур могут быть поняты при рассмотрении их как изотипных p—p-гетероструктур. Действительно, результаты

работы по двойному модифицированию [12] дают основание считать $\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>$ примесным ХСП дырочного типа. Известно, что и в As_2Se_3 перенос заряда также осуществляется дырками [13], причем концентрация носителей заряда в As_2Se_3 гораздо меньше, чем в $\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>$. Учитывая большой градиент концентрации дырок на границе $\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>-\text{As}_2\text{Se}_3$ и значение проводимости двойных (по 0.5 мкм каждый слой) гетероструктур ($\sim 10^{-9} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$), превышающее значение проводимости высокоомной прослойки As_2Se_3 на 3—4 порядка, можно предположить образование в пленке As_2Se_3 вблизи границы с $\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>$ обогащенной дырками области, ширина которой больше толщины пленки As_2Se_3 .

Асимметрию ВАХ двойных гетероструктур можно связать с блокирующим действием алюминиевого контакта на границе с As_2Se_3 при приложении к нему напряжения положительной полярности [3—7]. Подтверждением этого предположения является симметричная ВАХ при замене алюминиевого электрода на золотой, который является слабо инжектирующим контактом к As_2Se_3 [14—16].

Наличием в слое As_2Se_3 обогащенных дырками областей, прилегающих к границам с $\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>$, можно объяснить также высокое значение проводимости тройной структуры $\text{Al}-\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>-\text{As}_2\text{Se}_3-\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>-\text{Al}$. Свидетельствуют о наличии таких областей и результаты исследования зависимости проводимости тройной структуры от толщины слоя As_2Se_3 (рис. 2). При толщине слоя As_2Se_3 больше 3—4 мкм проводимость тройной структуры равна проводимости As_2Se_3 . При меньших толщинах она значительно превосходит значение проводимости As_2Se_3 . Можно считать, что суммарная ширина области обогащения в нашем случае составляет 3—4 мкм (по 1.5—2 мкм на каждой стороне слоя As_2Se_3 , граничащего со слоем $\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>$).

Таким образом, результаты исследования контакта модифицированный—немодифицированный As_2Se_3 свидетельствуют о наличии области обогащения дырками в слое As_2Se_3 . Этот вывод указывает на возможность использования пленок $\text{As}_2\text{Se}_3 <\text{Ni}>$ в качестве невыпрямляющих контактов для проведения широкого круга исследований электрических и электрооптических свойств As_2Se_3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kolomiets B. T., Averyanov V. S., Syubin V. M., Prikhodko O. Yu. // Sol. Energy Mater. 1982. V. 8. N 1-3. P. 1—8.
- [2] Wallace A. M., Owen A. E., Robertson J. M. // Phil. Mag. B. 1978. V. 38. N 1. P. 57—70.
- [3] Fritzsche H. Amorph. a. Liq. Semicond. / Ed. by J. Tauc. London—N. Y., 1972. P. 441.
- [4] Turnbull A. A. // Brit. J. Appl. Phys. 1964. V. 15. N 8. P. 1051—1055.
- [5] Yoshida O. // Japan. J. Appl. Phys. 1967. V. 6. N 7. P. 875—882.
- [6] Sarsembinov Sh. Sh., Maksimova S. Ya., Tutanov M. A., Aitmambetov R. M. // Proc. VII Int. Conf. Amorph. a. Liq. Semicond. Edinburgh, 1977. P. 590—594.
- [7] Иову М. А., Иову М. С., Шутов С. Д. // Изв. АН МССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук. 1979. № 3. С. 77—81.
- [8] Любин В. М., Федорова Г. А., Федорова Е. И., Цырлин Л. Э. // Аморфные и стеклообразные полупроводники. Калининград, 1977. С. 77—83.
- [9] Сарсембинов Ш. Ш., Максимова С. Я., Федоренко Т. А. // Изв. АН Каз. ССР. Сер. физ.-мат. 1982. № 4. С. 58—62.
- [10] Мотт Н., Девис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., 1982. 662 с.
- [11] Marshall J. M. // Phys. Mag. B. 1978. V. 38. N 1. P. 407—417.
- [12] Аверьянов В. Л., Звонарева Т. К., Любин В. М. и др. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 11. С. 2093—2094.
- [13] Коломиец Б. Т., Лебедев Э. А. // ФТП. 1967. Т. 1. В. 2. С. 300—302.
- [14] Lakatosh A. G. // Bull. Amer. Phys. Soc. 1971. V. 16. N 3. P. 348.
- [15] Abkowitz M., Scharfe M. // Proc. VII Int. Conf. Amorph. a. Liq. Semicond. Edinburgh, 1977. P. 585—589.
- [16] Коломиец Б. Т., Лебедев Э. А., Казакова Л. П. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 9. С. 1771—1776.