

усиления в структурах на основе РИТ требует специального создания каналов и выбора материала диэлектрика. В качестве измерительных фотодиодов целесообразно использовать изученные структуры, обладающие высокой квантовой эффективностью (рис. 2, а, в). Значение темнового тока для таких структур при напряжении смещения 10 В не превышало 5×10^{-6} А. Концентрация основных носителей заряда, определенная из анализа вольт-емкостных характеристик, составляла величину $1.3 \cdot 10^{13}$ см⁻³.

Лучшие образцы измерительных фотодиодов сохраняли работоспособность при повышенных температурах (до +85 °С) и характеризовались следующими параметрами при нормальных условиях и напряжении смещения 120 В: темновой ток не превышал значения $9 \cdot 10^{-6}$ А, емкость — значения $8 \cdot 10^{-12}$ Ф, время нарастания фотоответа при длине волны 1.3 мкм — значения $2.4 \cdot 10^{-9}$ с, а время спада — значения $4 \cdot 10^{-9}$ с. При диаметре фоточувствительной площадки 2 мм неравномерность интегральной чувствительности (источник типа А) по площадке не превышала 1 % при сканировании световым зондом с диаметром $6 \cdot 10^{-3}$ см.

Таким образом, описанная конструкция фотодиода на основе нового полупроводникового соединения ргунто-индиевого теллурида является перспективной для разработки на ее основе измерительных высокоэффективных быстродействующих фотоприемников для диапазона спектра 0.8—1.6 мкм, а также специальных фотоприемников, использующих некоторые уникальные свойства данного материала.

Список литературы

- [1] *Вербицкая Е. М., Еремин В. К., Строкан Н. Б., Тархин Д. В.* // ПТЭ. 1984. № 5. С. 158—160.
- [2] *Chan E. J., Card H. C.* // IEEE Trans. Electron. Devices. 1980. Vol. 27. N 1. P. 78—83.
- [3] *Ponpon J. P., Siffert P.* // J. Appl. Phys. 1978. Vol. 49. N 12. P. 6004—6011.
- [4] *Goodric S. M., Wager J. F., Wilmsen C. W.* // J. Appl. Phys. 1980. Vol. 51. N 1. P. 528—531.
- [5] *Грушка Г. Г., Грушка Э. М., Гавалешко Н. П.* // УФЖ. 1985. Т. 30. № 12. С. 304—307.
- [6] *Бакуменко В. Л., Бонаков А. К., Грушка Г. Г.* // Электронная техника. Материалы. 1983. Вып. 2 (175). С. 75—76.
- [7] *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 1. 455 с.
- [8] *Нагин А. П., Никитин И. О., Гюлькин В. М.* // Микроэлектроника. 1983. Т. 12. Вып. 6. С. 535—539.
- [9] *Малик А. И.* // ЖТФ. 1989. Т. 59. Вып. 5. С. 119—120.

Черновицкий
государственный университет

Поступило в Редакцию
6 февраля 1989 г.

06

Журнал технической физики, т. 60, в. 6, 1990

© 1990 г.

АНОДНЫЙ ЭЛЕКТРОДНЫЙ ПРОЦЕСС В ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ, СТИМУЛИРОВАННЫЙ ВНЕШНИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

*А. М. Андриеш, В. И. Нефедов, Д. И. Циуляну, А. Н. Соколов,
Г. М. Тридун, Л. В. Гринштун*

Физические свойства структур металл—халькогенидный стеклообразный полупроводник (ХСП) во многом определяются электродными процессами, протекающими на границе раздела. Эти процессы имеют место при активном участии внешней среды и сопровождаются появлением темновой электродвижущей силы [1], изменением кинетики фотоответа [2], электропроводности [3] и других параметров. На рис. 1, а показано типичное изменение спектра пропускания структур металл (Al)—ХСП (As₂S₃Ge₂) в процессе хранения, которое иллюстрирует расход металлического электрода (рост прозрачности) на электродный процесс. Примечательно, что интенсивность электродного процесса может быть увеличена в десятки тысяч раз путем приложения к структуре внешнего электрического поля [4] (эффект электро-стимулированных химических превращений (ЭСХП)), освещения [5] или увеличения влаж-

ности окружающей среды [8]. Эта особенность позволяет использовать подобные структуры для записи оптической информации [7].

Вместе с тем до настоящего времени нет однозначных данных о продуктах электродных процессов, которые могли бы пролить свет на их механизм. В настоящей работе делается попытка восполнить этот пробел методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии в сочетании с ионным травлением и исследованием коэффициента отражения структур в спектральной области, соответствующей вакуумному ультрафиолету.

В качестве объекта исследований использовались тонкослойные структуры $Al-As_2S_3Ge_4$, изготовленные термическим вакуумным напылением на стеклянные подложки с предварительно нанесенным проводящим слоем двуокиси олова. Электродный процесс стимулировался приложением внешнего напряжения положительной полярности к алюминиевому электроду (анодный процесс ЭСХП) и дополнительным освещением структур до полного израсходования электрода.

Рентгеновские фотоэлектронные спектры измерялись на спектрометре VGADES-400 излучением $Al K_{\alpha}$ с энергией 1486.6 эВ. Режим работы рентгеновской трубки 12 кВ × 40 мА.

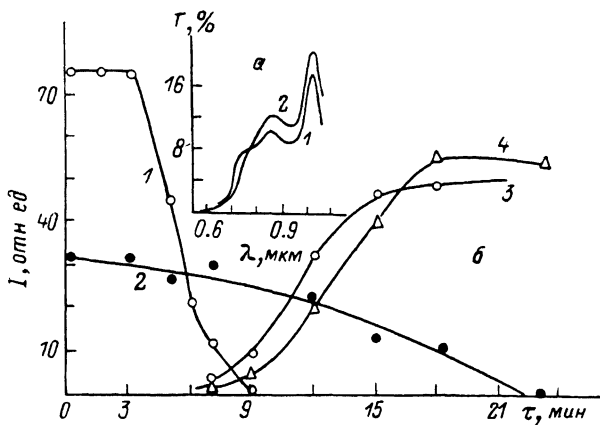


Рис. 1. Спектральное распределение коэффициента пропускания свежеизготовленных (1) и выдержанных в нормальных условиях в течение суток (2) структур $Al-As_2S_3Ge_4-SnO_2$ (а) и зависимость интенсивности линий $Al 2p$ и $Sn 3d$ от времени травления свежеизготовленных структур (1, 3) и после израсходования Al в анодном процессе ЭСХП (2, 4) (б).

Измерения проводились в вакууме не хуже 10^{-8} Тор. Угол выхода электронов из образца составлял 10° относительно нормали к поверхности. Травление осуществлялось пучком ионов Ag с энергией 7 кэВ со средней скоростью $100 \text{ \AA}/\text{мин}$.

Спектры оптического отражения снимались в интервале энергий фотона 4—14 эВ, угол отражения 22.5° .

На рис. 1, б приведены зависимости интенсивности линий $Al 2p$ от времени травления для свежеизготовленной структуры (кривая 1) и структуры с израсходованием в электродном процессе алюминиевым электродом (кривая 2). Так как интенсивность линии пропорциональна концентрации [8] атомов элемента, а время травления — расстоянию от поверхности, то эти кривые воспроизводят профили концентрации алюминия до (кривая 1) и после (кривая 2) его израсходования на электродный процесс. Там же соответствующие зависимости для линии $Sn 3d$, входящего в состав нижнего электрода, полученные до экспонирования структуры (кривая 3) и после ее экспонирования в электрическом поле (кривая 4). Размытие границы раздела (кривые 1, 3) объясняется шероховатостью поверхности образца и статическим характером травления.

Из рис. 1 видно, что в результате электростимулированного электродного процесса атомы металла электрода проникают практически на всю глубину пленки ХСП (2000 \AA), почти равномерно уменьшая свою концентрацию до нуля. Толщина структуры при этом не уменьшается, а, наоборот, несколько возрастает, что подтверждается смещением относительно поверхности концентрационного профиля атомов олова (кривая 4).

Вместе с тем в приповерхностной области значительная часть атомов металла окисляется. На рис. 2, а показаны характерные спектры $Al 2p$, снятые на рассматриваемой структуре до и после стимулирования электродного процесса внешним напряжением и освещением. Заметно, что относительная интенсивность линии связанного в Al_2O_3 алюминия по отношению

интенсивности несвязанного алюминия существенно возрастает в результате взаимодействия в ходе отмеченного выше электродного процесса. Причем окисление металла осуществляется со стороны границы раздела ХСП—металл и распространяется к поверхности. На это указывает зависимость отношения интенсивности линий алюминия, связанного в Al_2O_3 (1), к соответствующей интенсивности линий чистого Al (I_0) от глубины травления (рис. 2, б). До протекания ЭСХП это отношение является постоянной величиной (кривая 1), указывающей на окисление тонкого поверхностного слоя в процессе измерений благодаря присутствию в камере некоторого количества кислорода.

Для структуры с израсходованным электродом (кривая 2) указанное отношение возрастает по мере приближения к границе раздела. Частичное превращение слоя металла в его окисел подтверждается также спектрами оптического отражения структур, снятыми до и

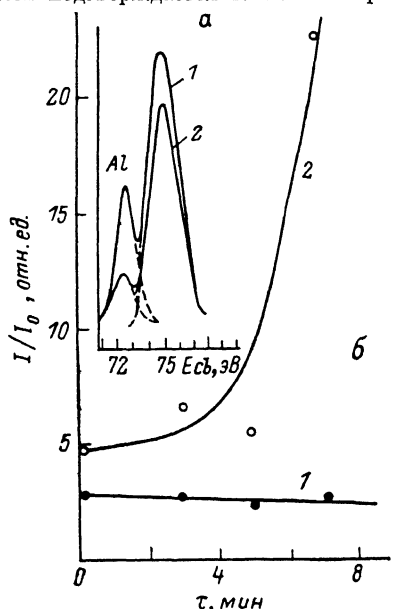
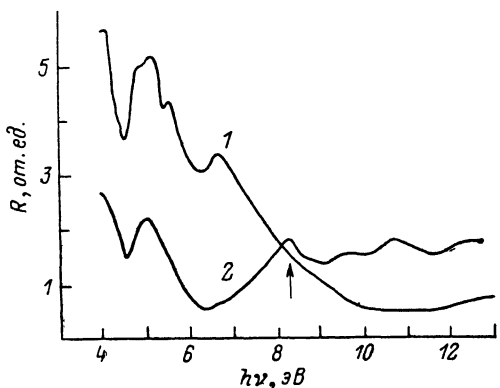
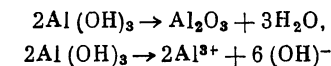


Рис. 2. Интенсивность линии Al_{2p} в окисле и металле для свежезготовленной структуры (1) и после анодного процесса ЭСХП (2) (а) и зависимость отношения интенсивности линий Al_{2p} в окисле и металле от времени травления до (1) и после (2) ЭСХП (б).

Рис. 3. Спектральное распределение коэффициента отражения структур $Al-As_2S_3Ge_4-SnO_2$ до (1) и после (2) израсходования алюминия в анодном процессе ЭСХП.



объясняется, с одной стороны, частичной диффузией атомов металла в ХСП с образованием смеси (Me—ХСП) и, с другой стороны, превращением слоя металла в его окисел. Последнее может быть понято, если учесть, что электродный процесс усиливается во влажной атмосфере или при предварительной адсорбции влаги на границе раздела, в результате чего нанесенный впоследствии слой металла превращается на этой границе в свой гидроокисел [10]. Гидроокись металла является нестабильной и разлагается по двум направлениям



с регенерацией молекул воды и выделением свободных ионов металла. Так как уровни химического потенциала этих ионов в металлической сетке и на границе раздела разные, то для достижения равновесия часть из них переходит из электрода в приграничную область структуры, вызывая появление темновой электродвижущей силы [1]. Затем на границе раздела образуется двойной заряженный слой, в результате чего устанавливается электрическая нейтральность.

Внешнее электрическое поле выводит систему из равновесия, способствуя тем самым развитию электродного процесса, что на самом деле наблюдается в эксперименте.

Влияние других внешних факторов (освещения, нагрева, радиации и др.) на интенсивность ЭСХП объясняется в рамках предлагаемой модели полупроводниковыми свойствами слоя ХСП. Эти воздействия приводят к увеличению проводимости ХСП, перераспре-

делению падению напряжения в структуре, увеличению его доли падающей на границе раздела и усилению электродного процесса.

Заметим, наконец, что внешнее электрическое поле приводит также к некоторой миграции атомов самого ХСП, которая также сказывается, по-видимому, на свойствах структуры после ЭСХП. Описание этих результатов предполагается привести в другой работе.

Список литературы

- [1] Андриеш А. М., Циуляну Д. И., Коломейко Э. П. // Письма в ЖТФ. 1977. Т. 3. Вып. 3. С. 135—137.
- [2] Utsumi N., Wada M. // Jap. J. Appl. Phys. 1971. Vol. 10. N 1. P. 79—83.
- [3] Коломиец Б. Т., Кочемировский А. С., Мамонтова Т. Н., Пивоварова Л. В. // ФТП. 1978. Т. 12. Вып. 7. С. 1322—1326.
- [4] Андриеш А. М., Циуляну Д. И. // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2. Вып. 1. С. 38.
- [5] Андриеш А. М., Ганин В. М., Коломиец Б. Т. и др. // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. Вып. 12. С. 578—581.
- [6] Корсаков В. В., Цукерман В. Г. // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2. Вып. 1. С. 10—12.
- [7] Андриеш А. М., Циуляну Д. И., Тридох Г. М. // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 4. С. 745—748.
- [8] Нефедов В. И., Черепин В. Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел. М.: Наука, 1983. 423 с.
- [9] Лазарев В. Б., Соболев В. В., Шаплыгин Н. С. Химические и физические свойства простых оксидов металлов. М.: Наука, 1983. 240 с.
- [10] Eta Y., Hayashi T. // Jap. J. Appl. Phys. 1982. Vol. 21. N 12. P. 1665—1670.

Институт прикладной физики
АН Молдавской ССР

Кишинев

Институт общей и неорганической химии
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
8 февраля 1989 г.

01; 06

Журнал технической физики, т. 60, в. 6, 1990

© 1990 г.

ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОБСТВЕННЫХ МОД ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Л. А. Мельников, Р. Г. Бауэр

В волоконно-оптических линиях связи и в волоконных датчиках широко используются сплавные биконические направленные ответвители, конусообразные узкополосные фильтры и конические волоконные поляризаторы, неотъемлемым конструктивным элементом которых является одномодовое волокно с коническим участком. Известно, что потери мощности, спектральные и поляризационные характеристики перечисленных элементов во многом определяются геометрией конического участка одномодового волокна [1—3]. Поэтому представляет определенный интерес изучение особенностей распространения электромагнитных волн в коническом диэлектрическом волноводе.

В известной нам литературе этот вопрос рассматривался в рамках приближенных теорий локальных [4] и связанных локальных мод [2]. В теории локальных мод световод с плавно изменяющимися по длине параметрами аппроксимируется последовательностью конечных цилиндров, внутри каждого из которых электромагнитное поле рассматривается как поле бесконечно длинного световода. Для одномодового волокна в случае изменения радиуса сердцевинки вдоль волокна применение теории локальных мод корректно, если выполняется так называемый критерий плавности $\theta(z) \ll (2\Delta)^{1/2}(\bar{W}^2/4\pi V)$, где $\theta(z)$ — локальный угол относительно оси z ; $\Delta \cong (n_1 - n_2)/n_1$, n_1 , n_2 — показатели преломления среды сердцевинки и оболочки соответственно; \bar{W} — поперечный параметр затухания в случае слабой волноводности; V — характеристическая частота [4]. Численные оценки показали, что для конуса с углом $\theta = 0.1^\circ$ это условие выполняется, начиная с $V > 2.4$, а с углом $\theta = 1^\circ$ — только начиная с $V > 10$. Таким образом, использование теории локальных мод во всей области одномодового режима ($V \leq 2.405$) возможно при условии, что угол конуса очень мал.