

УДК 539.213
 © 1991

ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФУЗИЯ СЕРЕБРА В СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПЛЕНКАХ СИСТЕМЫ As—Se, СТИМУЛИРОВАННАЯ КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ

А. В. Колобов, В. М. Любин, М. А. Тагирджанов

Обнаружено существенное изменение характера поперечной диффузии серебра в пленках As_2Se_3 толщиной 500 Å после их обработки коронным разрядом в темноте: аномально быстрое (до 1.0 мкм/с) распространение по закону $x \sim t^{1/2}$ фазы I с малой оптической плотностью и распространение оптически более плотной фазы II при торможении распространения фазы I после засветки (~ 0.3 мВт/см²). На свету наблюдается существенно более быстрое распространение оптически плотной фазы III. Результаты объясняются в предположении о разрыхлении приповерхностной области ХСП в процессе ионной бомбардировки.

В последние годы внимание многих исследователей привлекает изучение процесса диффузии серебра в пленки халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) [1–3]. Механизм этого процесса, в частности возможность резкого ускорения диффузии светом (фотодиффузии), остается невыясненным. С целью его выяснения в ряде работ изучалась так называемая поперечная диффузия серебра, когда слой металла наносится в виде ступеньки с резкой границей и изучается движение фронта легированной области вдоль пленки ХСП [4–7]. Было установлено, что предварительное облучение пленки ХСП видимым светом может существенно изменить скорость поперечной диффузии [6, 7].

В настоящей работе приводятся первые результаты, показывающие, что обработка пленки ХСП коронным разрядом приводит к необычному протеканию процесса поперечной диффузии.

1. Образцы приготавливались термическим испарением в вакууме $5 \cdot 10^{-6}$ Торр на подложку из оксидного стекла пленок As_2Se_3 толщиной около 500 Å. Обработка пленок ХСП коронным разрядом проводилась на воздухе при напряжении на коронирующем электроде —6 кВ в течение 10–40 мин, после чего на пленку также испарением в вакууме наносилась полоска серебра толщиной ~ 1 мкм. Поперечная диффузия серебра происходила при комнатной температуре и контролировалась при помощи микрофотометра МФ-4.

2. После нанесения слоя серебра на пленку ХСП, обработанную коронным разрядом, в ней начинается (в темноте) аномально быстрое (с начальной скоростью ~ 1.0 мкм/с) распространение диффузионного фронта серебра. Распространение этого диффузионного фронта с хорошей точностью описывается законом $x \sim t^{1/2}$ (рис. 1). В результате такого процесса формируется легированная серебром область ХСП (фаза I) с резким фронтом, оптическая плотность которой лишь незначительно отличается от оптической плотности нелегированной пленки ХСП ($T_{\text{диф, I}} = 0.9 T_0$). Рост фазы I схематически иллюстрируется рис. 2.

Если образец, в котором образовалась фаза I, подвергнуть облучению видимым светом малой интенсивности (~ 1 мВт/см²) в течение незначительного времени (меньше 5 мин), то опять же в темноте начинается про-

движение второго фронта поперечной диффузии, гораздо более медленное (5—10 мкм/мин) и аппроксимируемое степенным законом $x \sim t^m$ при $0.5 < m < 1.0$. При этом образуется фаза II, оптическая плотность которой несколько выше, чем оптическая плотность фазы I ($T_{\text{диф}2} = 0.65 T_0$).

При облучении всего образца распространение фазы II начинается от источника серебра (рис. 3, а). Если же облучать через маску область фазы I, удаленную от источника серебра (рис. 3, б), то в ней сразу после облучения происходит некоторое возрастание оптической плотности ($T = 0.8 T_0$), а через некоторое время оптическая плотность увеличивается до значений, соответствующих фазе II. Такой процесс реализуется в случае, когда сохранена связь с источником серебра. Если связь с источником нарушена, например процарапыванием пленки (рис. 3, в), то фаза II в образце не образуется.

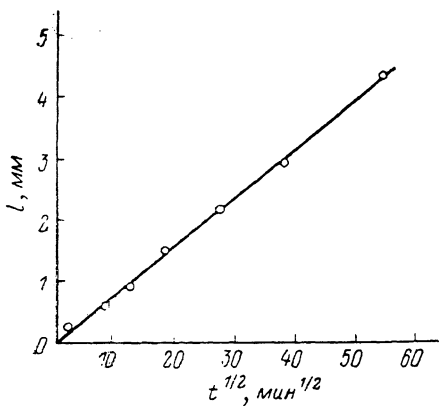


Рис. 1. Зависимость положения диффузионного фронта фазы I от времени. Отсчет времени ведется от момента напыления серебра.

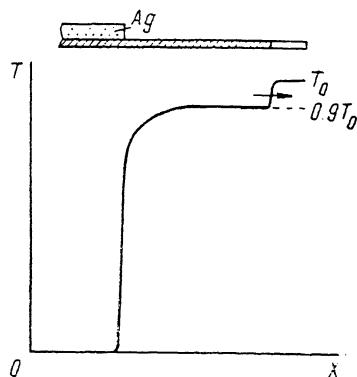


Рис. 2. Схематическое изображение оптического профиля образца. Рост фазы I.

Необходимо отметить, что после облучения образца распространение фазы I тормозится.

Облучение образца, в котором сформировалась фаза I (или фаза I и II), светом интенсивности 10—100 мВт/см² приводит к распространению (при постоянном облучении) фазы III со скоростью 5—10 мкм/мин по временному закону, близкому к таковому для фазы II. Фаза III имеет существенно большую оптическую плотность ($T_{\text{диф}3} = 0.4 T_0$), такую же, как оптическая плотность области, в которую при поперечной диффузии проникло серебро в необработанных коронным разрядом образцах (с той разницей, что в последнем случае скорость поперечной диффузии на несколько порядков меньше). Распространение фазы III иллюстрируется рис. 4.

3. Известно, что в разупорядоченных материалах диффузия протекает быстрее, чем в соответствующих кристаллах, что объясняется их более рыхлой структурой [8]. Вероятно, рыхлость структуры является определяющей и в наших экспериментах при распространении фазы I. В процессе обработки пленки ХСП коронным разрядом происходит бомбардировка поверхности ионами, приводящая к разрыхлению тонкой поверхностной области, в которой и протекает аномально быстрое распространение фазы I. Предположение о том, что на этом этапе серебро диффундирует только в приповерхностной области, подтверждается малым изменением оптической плотности при легировании, а также тем, что после стравливания тонкого (100 Å) слоя ХСП в 1%-ном растворе КОН эффект от облучения коронным разрядом исчезает.

При облучении участка пленки с фазой I светом малой интенсивности, по-видимому, происходит некая реакция на границе фазы I и более глу-

боких слоев образца, открывающая возможность серебру легко проникать из приповерхностной фазы I в глубь образца, образуя фазу II. Рост фазы II осуществляется за счет транспорта серебра из источника по фазе I. Это доказывается опытами по засветке областей фазы I, удаленных от источника серебра, и по отсутствию образования фазы II при нарушении связи с источником серебра. При этом выглядит естественным тот факт, что

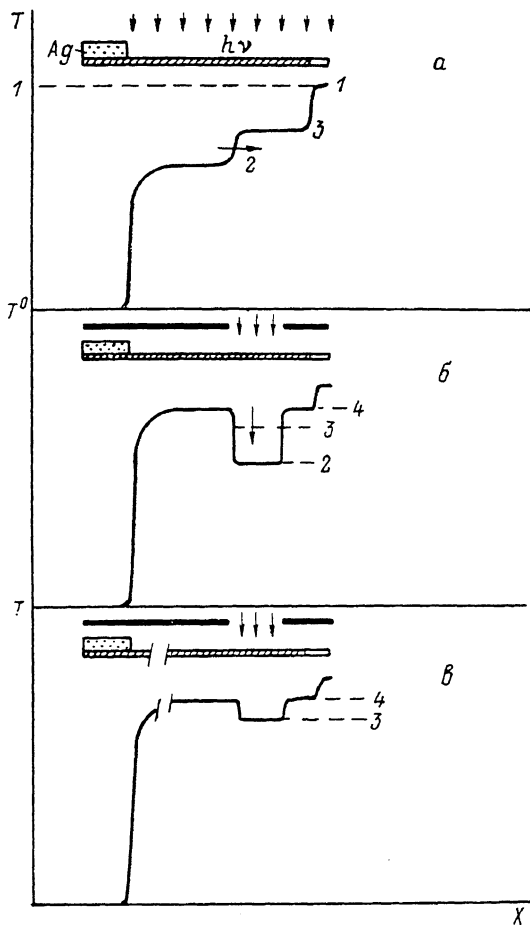


Рис. 3. Схематическое изображение оптического профиля образца. Рост фазы II.

а — облучение всего образца, б — облучение отдельной области образца через маску, в — облучение части образца через маску при нарушенной связи с источником серебра. 1 — T_0 , 2 — $0.65T_0$, 3 — $0.8T_0$, 4 — $0.9T_0$.

ловия для дальнейшего растворения серебра в ХСП. Для ответа на вопрос о механизме распространения фазы II нужны дополнительные исследования, в частности проведение анализа химического состава в тонкой приповерхностной области и в глубине образца.

Что касается фазы III, то она скорее всего связана с процессом диффузии серебра по всей толще образца. Этот вывод можно сделать из близости оптических плотностей фазы III и продукта реакции, образуемого при поперечной диффузии серебра в необработанных пленках As_2Se_3 такой же толщины.

Существенно более быстрое распространение оптически плотного фронта в областях, подвергшихся коронному разряду (по сравнению с необработанными), связано, вероятно, с наличием на поверхности тонкого слоя с более высокой проводимостью (фаза I). Ранее ускорение поперечной диффузии в пленках, нанесенных на проводящие подложки, наблюдалось в работах [4, 5, 9].

распространение фазы I тормозится: происходит перераспределение потоков серебра в пользу роста легированной серебром области в более глубоких местах образца. Распространение фронта фазы II связано с последовательным «заполнением» серебром доступных для его проникновения областей.

Возможна и другая ситуация, а именно перераспределение серебра в пределах того же приповерхностного слоя. В этом случае облучение светом, приводя к фотоструктурным превращениям, может создавать ус-

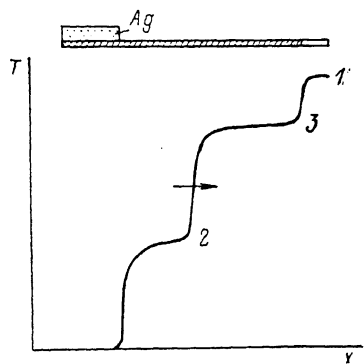


Рис. 4. Распространение фазы III.
1 — T_0 , 2 — $0.4T_0$, 3 — $0.8T_0$.

Список литературы

- [1] Косышин М. Т., Михайловская Е. В., Романенко П. Ф. // ФТТ. 1966. Т. 8. № 3. С. 571—575.
- [2] Kolobov A. V., Elliott S. R., Taguirdzhanov M. A. // Philos. Mag. B. V. 61. N 5. P. 859—865.
- [3] Lis S. A., Lavine J. M. // Appl. Phys. Lett. 1983. V. 42. N 5. P. 675—677.
- [4] Matsuda A., Kikuchi M. // Proc. 4th Conf. Solid State Devices. Tokyo, 1972. P. 239—248.
- [5] Owen A. E., Firth A. P., Ewen P. J. S. // Philos. Mag. B. 1985. V. 52. P. 347—362.
- [6] Yamaguchi M., Shimizu I., Inoue E. // J. Non-Cryst. Sol. 1982. V. 47. P. 341—354.
- [7] Süptitz P., Fischer A. // Phys. St. Sol. 1984. V. a82. N 1. P. 157—161.
- [8] Абдуллоев Г. Б., Джафаров Т. Д. // Атомная диффузия в полупроводниковых структурах. М.: Атомиздат, 1980. 280 с.
- [9] Kolobov A. V., Bedel'baeva G. E. Philos. Mag. 1991. V. B63.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
25 июля 1990 г.

