

ров перпендикулярно слоям при интеркалировании. Видно, что в области  $0 < x < 0.05$  происходит декомпенсация исходного моноселенида индия. При  $x > 0.05$  обратное смещение уровня Ферми к середине запрещенной зоны сопряжено в основном с тем, что вводимые частицы создают под уровнем Ферми  $\text{InSeCl}_{0.05}$  больше уровней, чем их валентных электронов. Из рисунка также следует, что характер изменения сопротивления перпендикулярно слоям определяется полностью видом  $E_F(x)$ . Здесь, вероятно, необходимо учитывать сложную зависимость подвижности носителей заряда от  $x$ , предопределяемую такими конкурирующими механизмами, как увеличение расстояния между слоями, возрастание перекрытия электронных волновых функций различных слоев при введении электроотрицательного хлора, дополнительное рассеяние на введенных примесях.

Таковы главные закономерности изменения важнейших физических свойств  $\text{InSe}$  при интеркалировании его хлором.

#### Список литературы

- [1] Григорчак И. И., Ковалюк Э. Д., Козымяк П. Д., Петяга В. В., Товарницкий М. В. // Тез. докл. VII Всес. конф. «Химия, физика и техническое применение халькогенидов». Ужгород, 1988. Т. 3. С. 144.
- [2] Fivaz R. S., Schmid Fh. E. // Optical and electrical Properties / Ed. by P. A. Lee. Dordrecht, 1976. P. 343—384.
- [3] Бонч-Бруевич В. Л. // Статистическая физика и квантовая теория поля / Под ред. Н. Н. Боголюбова. М., 1973. С. 337—391.
- [4] McKinnon W. R., Haering R. R. // Mod. Asps. Electrochem. 1983. N 15. P. 235—304.
- [5] Levy-Clement C., Nagard N., Gorochov O., Chevy A. J. // Electrochem. Soc. 1984. V. 131. N 4. P. 790—796.

Институт проблем материаловедения  
АН УССР  
Черновицкое отделение

Получено 24.08.1989  
Принято к печати 16.10.1989

ФТП, том 24, вып. 2, 1990

## НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ ПЛЕНОК СУЛЬФИДА КАДМИЯ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ФОТОСТИМУЛИРОВАННОЙ ДИФФУЗИЕЙ КИСЛОРОДА

Панов В. П., Панова Г. Д., Туриев А. М.,  
Шейнман М. К.

Пленки сульфида кадмия, полученные химическим осаждением из водного раствора по методу Мокрушина [1] и не подвергаемые дополнительной обработке, обнаруживают различного рода нестабильности проводимости при оптических, термических и электрических воздействиях [2-4]. В частности, при фотовозбуждении нестабильность проявляется как длительная (многочасовая) нарастающая компонента проводимости после включения света, в процессе которой проводимость увеличивается на несколько порядков величины. После выключения света наблюдается долговременная релаксация проводимости (ДРП), протекающая в отдельных случаях при комнатной температуре десятки суток [2, 4]. Аналогичная картина нестабильности может иметь место в темноте при включении слабых электрических полей ( $\sim 10^2$  В/см), а также после нагревания пленки [3].

Предварительные исследования [4] нестабильности, возникающей при оптическом возбуждении, позволили предположить, что весьма медленная и глубокая модуляция проводимости обусловлена стимулированной светом диффузией кислорода из объема пленки по границам мелких кристаллитов.

Цель настоящей работы — изучение возможности реализации выдвинутого механизма нестабильности проводимости.

Эксперимент проводился в высоковакуумном криостате с электрическими и оптическими вводами. В рабочем вакууме  $\sim 10^{-8}$ – $10^{-10}$  Тор на одном и том же образце одновременно измерялись проводимость на постоянном токе и относительное количество кислорода на поверхности пленки. Последнее достигалось воздействием одиночного 50-наносекундного импульса неодимового лазера TOR-100M и регистрацией энергетического распределения десорбируемого кислорода при помощи времяпролетного масс-анализатора по методике [5]. Мощность зондирующего светового лазерного импульса подбиралась таким образом, чтобы исключить термодесорбцию кислорода.

Изучались образцы мелкодисперсных химических пленок сульфида кадмия [1] на стеклянных подложках с индиевыми электродами планарной геометрии при напряженности поля  $\sim 1 \div 10$  В/см.

На рис. 1 показаны зависимости светового тока (кривая 1) и величины максимума  $H$  энергетического распределения нейтральных молекул кислорода, десор-

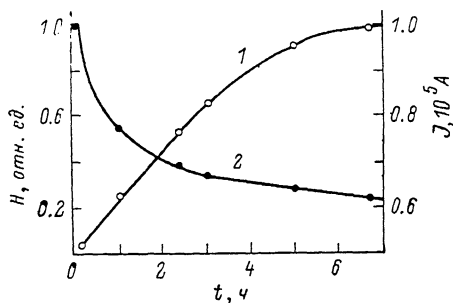


Рис. 1. Зависимость светового тока  $J$  (1) и величины максимума  $H$  энергетического распределения десорбированных молекул кислорода (2) от времени фотовозбуждения.

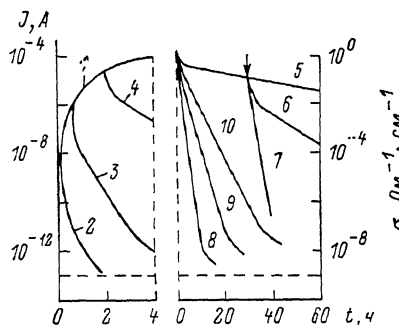


Рис. 2. Кинетика нарастания (1) и спада тока (2—10) при фотовозбуждении.

2—4 — атмосферное давление, различное время возбуждения; 5 — в вакууме; 6 — после впуска сухого кислорода давлением  $\sim 10^6$  Тор; 7 — после впуска увлажненного кислорода при давлении  $\sim 10^6$  Тор; 1—8 — для толщины пленки  $h=0.2$  мкм, 8—10 — для различных толщин пленок.  $h$ , мкм: 8 — 0.2, 9 — 0.5, 10 — 1.0.

бируемых лазерным импульсом (кривая 2), от времени возбуждения образца ультрафиолетовой лампой ДРШ при остаточном давлении газов в криостате не более  $10^{-8}$  Тор. Измерения выполнены при комнатной температуре. Быстрая компонента нарастания тока на рис. 1 не показана. Как видно из рис. 1, возрастание проводимости образца под воздействием света лампы сопровождается уменьшением количества кислорода на поверхности пленки.

Установлено, что действие многочисленных лазерных импульсов рабочей мощности без стационарного возбуждения светом лампы не приводило к заметному уменьшению концентрации кислорода на поверхности пленки. Вместе с тем аналогичные эксперименты с кристаллом сульфида кадмия показали, что после воздействия лишь нескольких (2—3) зондирующих лазерных импульсов без стационарного освещения лампой десорбция кислорода с поверхности кристалла не обнаруживается. Столь слабое по сравнению с кристаллами уменьшение количества кислорода на поверхности пленок под воздействием света указывает, по-видимому, на высокое объемное содержание кислорода в пленках и протекание диффузии кислорода из объема слоев, вызванной фотовозбуждением.

После выключения света проводимость пленок при давлении остаточных газов  $\sim 10^{-9}$  Тор изменяется очень медленно (ДРП): за 8 ч, например, менее чем в 2 раза. Причем равновесное значение проводимости после фотовозбуждения в указанных условиях низкого давления на несколько порядков величины превышает значение темновой проводимости при атмосферном давлении. Это позволяет предположить, что изучаемые пленки не обладают фотопроводи-

мостью в обычном ее понимании. При фотовозбуждении наряду с быстрыми электронными процессами перезарядки локальных поверхностных и объемных центров адсорбционного происхождения протекает и значительно более медленный процесс возрастания квазистационарной проводимости за счет стимулированной светом диффузии кислорода из объема пленки. Градиент концентрации кислорода при этом возникает за счет фотодесорбции кислорода с поверхности пленки.

На рис. 2 показано, что при фотовозбуждении лампой накаливания (300 Вт) при атмосферном давлении кислорода световой ток возрастает (кривая 1) по сравнению с темновым значением (отмечено горизонтальной штриховой линией) на 8—9 порядков. Видно, что при увеличении времени фотовозбуждения длительность спада тока (ДРП) возрастает (кривые 2—4), что можно связать с диффузионным характером процесса. Если время возбуждения весьма мало и недостаточно для выхода большого количества кислорода из объема (и с поверхности) слоя, то после выключения возбуждения восстановление равновесного (темнового) тока будет обусловлено в основном электронными процессами. В результате длительного интенсивного фотовозбуждения значительная часть хемосорбированного в равновесии кислорода выходит из слоя в окружающую среду. После выключения света полное равновесие в системе может наступить лишь после возвращении кислорода в объем посредством диффузии.

При достаточно низком давлении кислорода ( $\sim 10^{-5}$  Тор) длительное освещение приводит к весьма существенным ДРП (кривая 5). Повышение давления кислорода в процессе ДРП вызывает сокращение времени спада проводимости (кривая 6). Стрелкой на рис. 2 отмечен момент увеличения давления кислорода. Значительно больший эффект ускорения обнаруживается при впуске влажного кислорода (кривая 7), что объясняется, вероятно, возрастанием коэффициента диффузии кислорода.

Диффузионный механизм нестабильности проводимости в процессе освещения был подтвержден исследованьем пленок различной толщины. Установлено, во-первых, что скорость ДРП уменьшается с ростом толщины пленок (кривые 8—10 сняты в увлажненном кислороде при давлении  $\sim 10^3$  Тор). Во-вторых, временная зависимость тока (ДРП) удовлетворительно описывается законом

$$I(t) = J_0 + C_1 \exp\left(-\frac{C_2 t}{h^2}\right),$$

где  $J_0$  — темновое значение тока,  $C_1, C_2 = \pi D/4$  — постоянные, не зависящие от времени  $t$ ,  $h$  — толщина пленки,  $D$  — коэффициент диффузии.

Известно, что такая кинетика отвечает модели диффузии из постоянного источника в слой конечной толщины. Малые значения энергии активации диффузии, полученные в эксперименте 0.17 эВ по сравнению с обычно наблюдаемыми в кристаллах, указывают, скорее всего, на то, что диффузия кислорода протекает по межкристаллитным границам. Асимметрия кривых нарастания и затухания проводимости (рис. 2, кривые 1, 5), вероятно, связана с влиянием оптического возбуждения на коэффициент диффузии [6].

Более обстоятельные обсуждения и дальнейшее развитие предложенной модели будут представлены в последующих публикациях.

Авторы выражают благодарность Э. Ф. Лазневой за интерес к работе и предоставление возможности проведения масс-спектрометрических экспериментов.

#### Список литературы

- [1] Мокрушин С. Г., Ткачев Ю. Д. // Коллоид. журн. 1961. Т. 23. В. 4. С. 438—441.
- [2] Сизова Г. Д., Панов В. П., Шейнкман М. К. // Тез. докл. V Всес. совещ. «Физика и технич. применение полупроводн. АИВVI». Вильнюс, 1983. Т. 3. С. 202—203.
- [3] Панов В. П., Сизова Г. Д., Потапов В. Н. // УФЖ. 1983. Т. 28. В. 3. С. 457—459.
- [4] Панов В. П., Сизова Г. Д. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 11. С. 2289—2290. Деп. РА-3025/80 «Электроника».
- [5] Лазнева Э. Ф., Туриев А. М. // ПТЭ. 1984. № 4. С. 125—127.
- [6] Вавилов В. С., Кив А. Е., Ниязова О. Р. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках. М., 1981. 156 с.