

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Першенков В. С., Попов В. Д., Шальнов А. В. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем. М., 1988. 256 с.
- [2] Крылов Д. Г., Ладыгин Е. А., Горюнов Н. Н. // ФТП. 1990 Т. 24. В. 6. С. 997—1000.
- [3] McWhorter P. J., Winokur P. S. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 48. N 2. P. 133—135.

Московский институт стали и сплава

Получено 10.01.1992
Принято к печати 4.03.1992

ФТП, том 26, вып. 7, 1992

НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ, ВЫЗВАННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НАРУШЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННО-МОЛЕКУЛЯРНОГО РАВНОВЕСИЯ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПЛЕНОК CdS

Панов В. П., Панова Г. Д.

При приложении слабых постоянных электрических полей ($10^2 \div 10^3$ В/см) к высокоомным пленкам типа CdS их проводимость не остается постоянной, а медленно, в течение многих часов (суток), релаксирует к стационарному значению. После включения малых напряжений проводимость спадает, а при больших напряжениях вслед за спадом происходит квазистационарное нарастание проводимости. В результате многочисленных исследований предложены различные физические механизмы обсуждаемого явления, включающие в себя как инжекционно-электронные процессы [^{1, 2}], так и разнообразные виды полевого дрейфа заряженных собственных или примесных точечных дефектов [^{3, 4}]. О природе дефектов в каждом конкретном случае высказываются лишь предположительные суждения. В подавляющем числе работ исследования выполнены на образцах с планарной геометрией электродов, когда межэлектродный промежуток открыт для доступа компонент окружающей газовой атмосферы и наибольшая плотность линий тока имеет место у поверхности пленки. Поскольку среди многообразных форм при адсорбции таких компонент воздуха, как кислород и влага, имеются и заряженные состояния [⁵⁻⁷], неустойчивость проводимости пленки может быть вызвана дрейфом в электрическом поле адсорбированных заряженных частиц. Вполне допустимо, что подвижность адсорбированных частиц в деструктурированном приповерхностном слое и на поверхности пленки может быть выше, чем объемных собственных дефектов. Поэтому нарушение электронно-молекулярного равновесия вследствие электродиффузии адсорбированных частиц атмосферы будет происходить при меньших полях, чем в случае других дефектов. Этим аспектам проблемы неустойчивости проводимости пленок уделяется до сих пор недостаточное внимание.

В данной работе исследовано влияние на нарастающие релаксации проводимости давления окружающей пленку атмосферы, а также предыстории образца.

Изучены тонкие (0.1—2.0 мкм) пленки CdS, полученные химическим осаждением из водных растворов [⁸] на стеклянных подложках, с планарной геометрией электродов. Влияние на характер релаксации материала электродов (In, Al, Cu, Ag, Au, графит, серебряная паста) и способа его нанесения на пленку (испарение в различной атмосфере и в вакууме либо вжигание) обнаружено не было. Электроды в виде двух полосок (In, Ag) шириной 2÷3 мм наносились

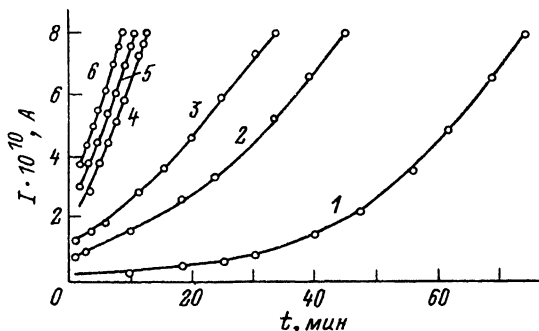


Рис 1. Релаксация тока в воздухе (1—3) и в вакууме (4—6) при $U = 450$ В.

1 — после экспозиции в воздухе в течение 5 суток, 2 — через 2 ч после снятия 1, 3 — через 1 ч после снятия 2, 4 — после первого включения поля, 5 — через 1 ч после 4, 6 — через 1 ч после 5.

испарением в вакууме на расстоянии $3 \div 5$ мм. Измерения выполнены при комнатной температуре.

Предварительные исследования показали, что изучаемые нами объекты обладают всеми закономерностями релаксаций проводимости, обычно наблюдаемыми другими авторами: сменой спадающих релаксаций, нарастающими по мере увеличения приложенного напряжения; увеличением скорости возрастания тока через пленку с ростом температуры и электрического поля; асимметрией вольт-амперных характеристик после выдержки образца при высоких напряжениях, связанной с приобретением анодом выпрямляющих свойств; изменением характера релаксации тока при переключении полярности приложенного напряжения.

Установлено, что протекание процессов, определяющих квазистационарное нарастание тока после включения напряжения, существенно зависит от давления атмосферы над поверхностью пленки как в процессе самой релаксации, так и в промежутках времени между последовательными включениями электрического поля. Если пленка после осаждения находилась в течение $3 \div 5$ суток при комнатной атмосфере в темноте, то отчетливо выраженная нарастающая релаксация тока наблюдается при напряжениях $U > 400$ В (межэлектродное расстояние 4 мм). Такая релаксация изображена кривой 1 на рис. 1 при $U = 450$ В. Повторное включение прежнего U через 2 ч после снятия кривой 1 приводит к ускорению релаксации (кривая 2). Эта тенденция просматривается и для кривой 3, полученной через 1 ч после кривой 2. Восстановление исходного состояния образца (кривая 2 или 1) можно достигнуть экспозицией в атмосфере в течение нескольких суток ($2 \div 10$), причем, чем больший уровень проводимости был достигнут в процессе нарастающей релаксации, тем большее время экспозиции необходимо для восстановления равновесия.

Если в процессе нарастания тока в атмосфере, например, по кривой 2, резко уменьшать давление атмосферы до 10^{-3} мм рт. ст. (включение откачки), то темп изменения тока значительно возрастает (рис. 2, кривая 1). После выдержки в вакууме без поля в течение 1 ч включение $U = 450$ В приводит к кривой 4 (рис. 1). Кривые 5 и 6 получены в вакууме с интервалом в 1 ч. Из рис. 1 видно, что темп нарастающих релаксаций в вакууме значительно выше, чем при атмосферном давлении воздуха.

Если в процессе нарастания тока в вакууме произвести выпуск воздуха, то рост тока существенно замедляется (рис. 2, кривая 2). Обнаружено, что в слабых полях, при которых проводимость практически стабильна, модуляция проводимости под воздействием изменения давления значительно слабее, чем при больших полях, когда ток явно возрастает. Кривая 3 на рис. 2 показывает изменение тока после включения откачки при $U = 10$ В (слабое поле).

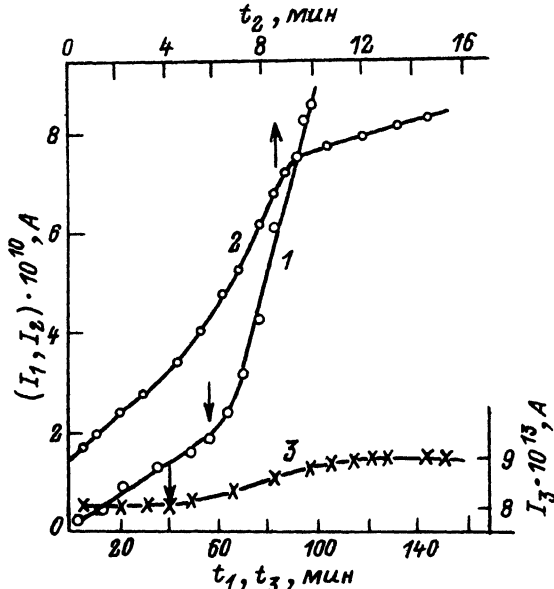


Рис. 2. Изменение характера релаксации тока при откачке (1, 3) и при впуске воздуха (2).

U, B: 1, 2 — 450, 3 — 10. Стрелка вниз — момент включения откачки, стрелка вверх — момент впуска воздуха. Индексы у I и t соответствуют нумерации кривых.

Полученные результаты находят объяснение, если предположить возможность дрейфа в постоянном электрическом поле заряженных форм адсорбированных кислорода и влаги. В исходном состоянии (атмосфера) проводимость поверхности и приповерхностного слоя пленки определяется концентрационным соотношением электроположительных частиц воды и электроотрицательных частиц кислорода. Исходя из условий синтеза исследуемых материалов (водная среда), можно допустить, что аналогичная ситуация имеет место и на границах зерен в объеме тонкой пленки.

При наложении поля отрицательно заряженные хемосорбированные частицы кислорода смещаются к аноду, а частицы влаги — в направлении катода. Дрейф адсорбированных частиц по поверхности пленки и по границам зерен приводит к перераспределению пространственного заряда, в результате которого проводимость прикатодной области повышается, а у анода образуется область пониженной проводимости. Таким образом, электронно-молекулярное равновесие на поверхности (в приповерхностном слое) в целом нарушено, причем степень и характер этого нарушения различны у противоположных электродов. В принципе полная проводимость межэлектродного промежутка может уменьшаться в силу различия кинетических адсорбционно-десорбционных параметров адсорбированных форм. Другая причина спада проводимости на рассматриваемой стадии связана, скорее всего, с характером перераспределения поля объемного заряда. Таким образом, в процессе спада проводимости происходит локализация поля в прианодной области за счет накопления здесь отрицательного объемного заряда.

В силу неоднородного распределения проводимости приповерхностного слоя пленки, связанного с биографической и адсорбционной неоднородностью, а также по причине неоднородной микрогеометрии контакта плотность тока будет также неоднородной в высокоомной прианодной области. При достаточно высокой степени неоднородности перенос носителей может осуществляться по узкому токо-

тому каналу. При большой плотности электрической мощности и малых размерах канала будет происходить джоулевый разогрев, повышающий его проводимость. Если разогрев значителен, то в области канала будет протекать десорбция кислорода, вызывающая дополнительное возрастание проводимости. Если не ограничивать ток, то произойдет электротепловой пробой канала.

После протекания нарастающей релаксации тока и выключения поля восстановление равновесия требует большого времени, определяемого адсорбционными процессами. При высоких температурах возможна дегидролизация токового канала, которая, как известно, может уменьшить адсорбционную способность полупроводника по отношению к кислороду. Этим объясняются весьма длительные времена восстановления равновесия после пропускания через канал больших токов. Поскольку темп адсорбционно-десорбционных процессов зависит от температуры, становится понятным, почему откачка слабее воздействует на проводимость холодного канала, чем горячего (рис. 2, кривые 3, 1). На разогревный механизм возрастания проводимости указывает также факт увеличения скорости роста тока при увеличении его начальных значений (рис. 1, кривые 1—6).

Микроскопические наблюдения поверхности пленки показали, что после пробы образца у анода образуется участок выгоревшей пленки в виде треугольника с основанием на анодном контакте. Высота треугольника занимает незначительную часть межэлектродного промежутка.

Таким образом, нестабильность проводимости пленок CdS может быть связана с дрейфом в электрическом поле заряженных форм адсорбированного кислорода (влаги) в электрическом поле и последующей локализацией поля в узкой прианодной области. Причиной квазистационарного нарастания тока является джоулевый разогрев узкого токового канала у анода, возникающего вследствие неоднородности проводимости и микрогеометрии контакта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах. М., 1973. 416 с.
- [2] Фурлей А. И., Сердюк В. В. // Электрон. техн. Сер. 12. 1970. № 4. С. 43—50.
- [3] Гершун А. С., Тиман Б. Л. // ФТТ. 1968. Т. 10. В. 8. С. 1583—1585.
- [4] Игнатов А. В., Сердюк В. В. // Изв. вузов СССР. Физика. 1975. № 2. С. 56—59.
- [5] Волькенштейн Ф. Ф. Физико-химия поверхности полупроводников. М., 1977. 398 с.
- [6] Нымм У. Х. Уч. записки Тартуского Универс. 1975. № 346. С. 14—72.
- [7] Киселев В. Ф., Крылов О. В. Адсорбционные процессы на поверхности полупроводников и диэлектриков. М., 1978. 255 с.
- [8] Мокрушин С. Г., Ткачев Ю. Д. // Коллоидный журн. 1961. Т. 23. В. 4. С. 438—441.

Криворожский горнорудный институт

Получено 10.02.1992
Принято к печати 12.03.1992