КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.315.592

Ю. В. Заикин
Ю. А. Зарифьянц
В. А. Лысков

ЗАРЯЖЕНИЕ ЛОВУШЕК В ОКСИСУЛЬФАТНОЙ ПЛЕНКЕ НА МОНОКРИСТАЛЛЕ PbS ПРИ ФОТОДЕСОРБЦИИ

В [1, 2] была исследована медленная релаксация проводимости реальной поверхности эпитаксиальных пленок PbS после возбуждения поперечным электрическим полем и оптическим заряжением ловушек. Представляло интерес провести аналогичные исследования в структуре термически выращенной оксисульфатной пленки PbS, являющейся удобной моделью для изучения электронных явлений в сложной гетерофазной поликристаллической системе — фоторезисторе, изготовленном высокотемпературной активацией пленки PbS на воздухе или в кислороде.

В настоящей работе измерения заряжения при оптическом возбуждении были выполнены на окисленной грани (100) монокристалла PbS с концентрацией носителей $6 \cdot 10^{18}$ см$^{-3}$ методом контактной разности потенциалов. Методика обработки поверхности, выращивания и измерения толщины оксисульфатного слоя изложены в [3]. Кристалл PbS с пленкой толщиной 0,5 мкм, выращенной окислением в кислороде при 870 К, помещался в ячейку для измерения контактной разности потенциалов с сетчатым отсчетным элетродом и вакуумировался при 300 К и давлении $5 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. в течение 3 ч. Далее производилась: засветка образца при 300 К ртутной или ксеноновой лампой через фильтры. Если энергия кванта падающего света превышала 2,3 эВ, наблюдалось быстрое положительное заряжение поверхности образца $\Delta\varphi$ (инерционность схемы измерения контактной разности потенциалов ~ 1 с), а в дальней-

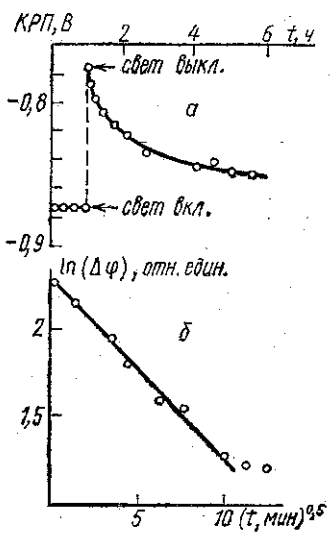

Рис. 1. *а* — изменение контактной разности потенциалов вакуумированного при 300 К монокристалла PbS с оксисульфатной пленкой и отсчетного электрода после облучения квантами с энергией $\sim 2{,}3$ эВ; *б* — начальный участок кинетики релаксации в координатах Коца [4]

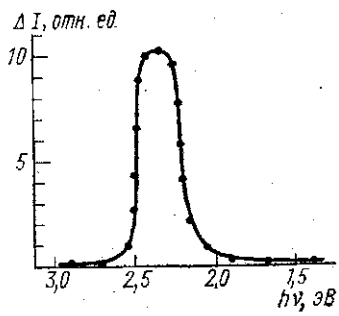

Рис. 2. Спектральное распределение относительной интенсивности выделения SO_2 при импульсных засветках

шем релаксация контактной разности потенциалов к первоначальному значению (рис. 1, *а*). Начальный участок релаксационной кривой $\Delta\varphi(t)$ с приемлемой точностью аппроксимируется уравнением Коца [4] $\Delta\varphi(t)=\Delta\varphi_0 \exp[-t(\tau^{эф})^{0.5}]$ с эффективным временем релаксации $\tau_{эф}=6\cdot10^3$ с (рис. 1, *б*). Такой кинетический закон характерен для перезарядки медленных поверхностных электронных состояний независимо от способа выведения их из равновесия с разрешенными зонами. При повторных засветках в вакууме величина $\Delta\varphi_0$ резко падала.

Полностью эффект заряжения поверхности восстанавливался только после многочасовой экспозиции образца в атмосфере при 300 К или кратковременного прогрева в кислороде при 500 К. При этом во всех последующих циклах длинноволновый порог фотовозбуждения смещался до 1,9 эВ. После вакуумирования образца при 500 К даже длительное облучение квантами света с энергией ниже 3,2 эВ [1] не приводило к изменению краткой разности потенциалов с точностью до 5 МэВ.

Для выяснения возможной причины, вызывающей положительное заряжение поверхности оксисульфатной пленки при освещении, были проведены масс-спектроскопические исследования газовыделения в результате засветки. Освещение производили импульсной лампой ИФП-200 через фильтры, состав газов анализировался прибором АПДП-2 и регистрировался кинокамерой. Не позднее чем через 0,1 с после вспышки в масс-спектре появлялись пики с массовыми числами 64, 48, 32 и соотношением амплитуд 1 : 0,75 : 0,25, которые однозначно идентифицируются как SO_2 (основной газообразный продукт взаимодействия поверхности PbS с кислородом [6]) и «осколочные» ионы SO и O_2 (или S). Это было подтверждено контрольным напуском SO_2 в систему.

На рис. 2 приведена спектральная зависимость относительной интенсивности пика SO_2. Максимум на кривой характеризует энергетическое положение ловушек, заполнение которых при освещении вызывает выделение SO_2. В результате последовательных засветок образца при фиксированной энергии квантов интенсивность этого пика экспоненциально падала с числом вспышек лампы. Общее количество выделившихся молекул составило $\sim10^{13}$ см$^{-2}$. Если образец предварительно прогревался в вакууме при 500 К, выделения SO_2 при освещении не наблюдалось. Повторная экспозиция в атмосфере восстанавливала эффект, причем, как и при исследовании заряжения, длинноволновая граница смещалась (до 1,8 эВ). Имеющиеся данные пока не позволяют сделать вывод о том, находится ли SO_2 на поверхности в молекулярной форме или входит в нестабильные поверхностные комплексы, легко разлагающиеся за счет фотохимической реакции. Десорбция наблюдалась и при нагреве образца в интервале 420—470 К. Энергия активации термодесорбции, определенная методом «вспышки» [7], составила 1,6 эВ.

Сопоставление результатов электрофизических и масс-спектрометрических измерений, выполненных на одних и тех же образцах, приводит к выводу, что причиной положительного заряжения поверхности оксисульфатного слоя на PbS при освещении является десорбция SO_2. Независимо от конкретных форм связи SO_2 с поверхностью в результате десорбции происходит быстрое перераспределение заряда между поверхностью и объемом пленки. Это в свою очередь выводит из равновесия систему электронных состояний пленки, заряд в которых после возбуждения медленно релаксирует к исходному значению. Если в аналогичных условиях проводился опыт со стандартным вакуумированным PbS-фоторезистором, после выключения освещения наблюдалась медленная релаксация его проводимости. Интересно отметить, что времена релаксации заряда на реальной поверхности PbS (находившейся в контакте с атмосферой при 300 К) и поверхности, покрытой толстой оксисульфатной пленкой, оказались очень близкими.

Авторы выражают благодарность проф. В. Ф. Киселеву за интерес к работе и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Муртазин А. М., Зарифьянц Ю. А. «Физика и техника полупроводников», 1973, 7, 2041.
2. Муртазин А. М., Зарифьянц Ю. А. «Физика и техника полупроводников», 1976, 10, 547.
3. Заикин Ю. В., Зарифьянц Ю. А., Зломанов В. П. «Изв. вузов. Физика», 1976, № 2, 75.
4. Кос S. «J. Phys. Czech.», 1961, B11, 193.
5. Заикин Ю. В., Карягин С. Н., Зарифьянц Ю. А., Киселев В. Ф. «Физика и техника полупроводников», 1976, 10, 2221.

[1] Облучение такого образца более энергичными квантами приводит к отрицательному заряжению и эффекту фотопамяти [5].

6. Hillenbrand L. J. «J. Phys. Chem.», 1969, 73, 2902.
7. Агеев В. Н., Ионов Н. И., Устинов Ю. К. «Журнал технической физики», 1964, 34, 547.

Поступила в редакцию
20.10 1976 г.
Кафедра
общей физики для химфака

УДК 533.9.082.76

В. А. Годяк
С. Н. Окс

К ВОПРОСУ О ЗОНДОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ВЧ-ПЛАЗМЫ

Корректное применение зондовой методики для диагностики плазмы ВЧ-разряда требует принятия специальных мер по установлению ВЧ-составляющей разности потенциалов в призондовом слое [1]. Известно, что наличие ВЧ-составляющей напряжения в призондовом слое приводит к сдвигу вольтамперной характеристики в сторону отрицательных потенциалов, т. е. к кажущемуся уменьшению постоянного потенциала плазмы в ВЧ-разрядах. В работе [2] была предложена зондовая схема, позволяющая исключить проникновение ВЧ-напряжения в призондовый слой. В настоящем исследовании проведена независимая проверка эффективности этой схемы. Для этого помимо зондовых измерений потенциала плазмы по методике [2] потенциал плазмы определялся из интегральных энергетических спектров ионов, покидающих разрядный промежуток в направлении ВЧ-поля. Сопоставление потенциалов плазмы, измеренных обоими методами, позволит судить о корректности использования зондовой схемы, предложенной на рис. 1. Эксперименты проводились в ВЧ-разряде на частотах $f_1=15$ МГц и $f_2=77{,}6$ МГц. Плазма ВЧ-разряда создавалась в трубке диаметром 100 мм, наполненной парами ртути при давлении $p=1{,}2\cdot10^{-3}$ мм рт. ст. Плоские внутренние электроды диаметром 93 мм были разнесены на 97 мм. Исследование энергетического распределения ионов, покидающих ВЧ-разряд, производилось приэлектродным трехсеточным анализатором. Входное отвер-

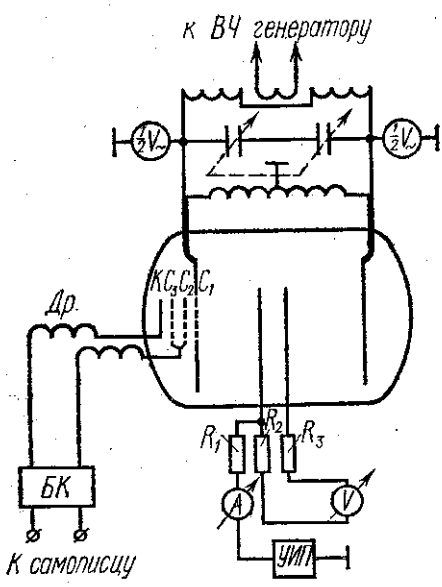

Рис. 1. Схема экспериментальной установки. *Др* — высокочастотный дроссель, *БК* — блок коммутаций $R_1=R_2=R_3=160$ кОм

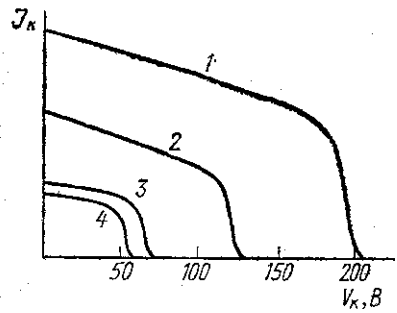

Рис. 2. Интегральные энергетические спектры ионов при $f_1=15$ МГц: *1* — $V\sim=420$ *2* — $V\sim=250$ В и при $f_2=77{,}6$ МГц; *3* — $V\sim=565$, *4* — $V\sim=28{,}2$ В

стие анализатора имело диаметр 6 мм, ширина ячейки сетки была 0,32 мм и толщина проволочки — 0,05 мм. Расстояние между входным отверстием анализатора и коллектором 4 мм, а между сетками 1 мм. Анализ велся по коллектору *К*. Сетки C_2 и C_3