

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ТОНКИХ СЛОЕВ PbS С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОКИСЛИТЕЛЯ

Бурлак А. В., Зотов В. В., Игнатов А. В., Тюрин А. В., Цукерман В. Г.

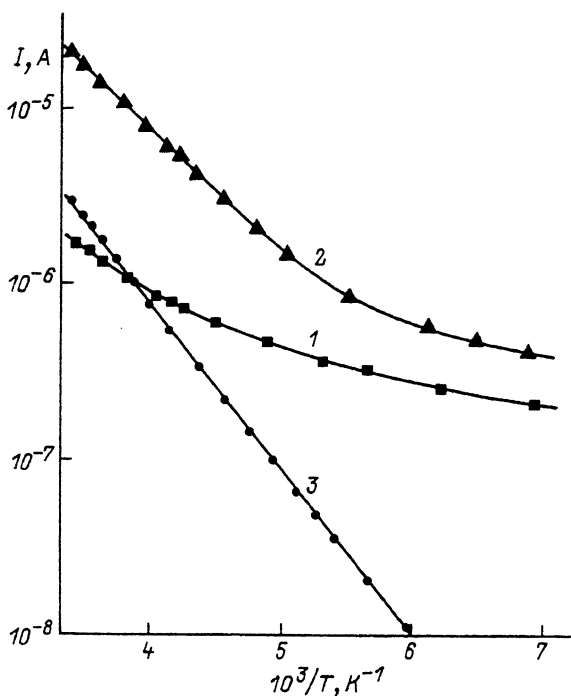
Хорошо известно влияние межзеренных границ (МЗГ) на физические свойства поликристаллических полупроводников PbS. В частности, многие особенности активационных параметров холловской подвижности, холловской концентрации свободных носителей, темновой проводимости и фотопроводимости и их зависимости от технологии изготовления образцов удалось объяснить, используя представления о МЗГ [1]. Следует, однако, отметить, что развитые в работах [2,3] представления о туннельном механизме переноса заряда через МЗГ, по-видимому, справедливы по отношению к «типичным» образцам PbS с высоким содержанием окислителя или, что то же самое, с достаточно ярко выраженным потенциальным рельефом зон. Необходимо отметить, что в ряде случаев технология производства предусматривает создание буферных слоев сульфида свинца с малым содержанием окислителя, которые обладают рядом специфических особенностей и, бесспорно, влияют на условия токопереноса в пленке.

Нами специально исследовались электрические и фотоэлектрические свойства поликристаллических пленок PbS, полученных путем химического осаждения из раствора с низкой концентрацией окислителя. Осаждение осуществлялось на кремниевые подложки, снабженные золотыми контактами. Исследования эффекта Холла в пленках позволили установить, что в исходном состоянии основными носителями тока являются электроны с концентрацией  $(4 \div 8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и подвижностью  $(4 \div 6) \cdot 10^{-1} \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . Показано, что подвижность слабо зависит от температуры и при ее повышении незначительно возрастает. Фоточувствительность образцов крайне незначительна, а люкс-амперные характеристики, измеренные в области высоких плотностей подсветки с  $\lambda_{\text{возб}} \sim 2.5 \text{ мкм}$ , линейны и не меняют характера своего поведения после отжига слоев в атмосфере кислорода. При этом уровень темновой проводимости несколько падает. Отжиг пленок в кислородсодержащей атмосфере при  $80^\circ \text{C}$  в течение 3 ч не приводит к изменению типа основных носителей заряда. Фоточувствительность образцов после отжига остается на том же низком уровне.

Характерной особенностью исследуемых структур является необычная температурная зависимость темновой проводимости PbS (см. рисунок, кривая 1), которая хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью с энергией активации, в свою очередь зависящей от температуры:

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[ - \frac{E_1 + E_2 \exp(-E_0/kT)}{kT} \right].$$

Здесь  $\sigma_0$ ,  $E_0$ ,  $E_1$ ,  $E_2$  — подгоночные параметры, которые, за исключением  $E_0$ , изменяют свои значения от образца к образцу и после отжига образцов на воздухе. Для всех образцов с низкой концентрацией окислителя величина  $E_0$  соответствует энергии  $(0.022 \pm 0.005) \text{ эВ}$ . Необходимо отметить, что энергия



Температурные зависимости темнового тока пленок сульфида свинца, полученных путем химического осаждения из раствора с различной концентрацией окислителя.

Концентрация окислителя, %: 1 — 0, 2 — 2.5, 3 — 100. (За 100% принята концентрация, используемая при стандартном осаждении фоточувствительных пленок).

активации темновой проводимости  $E_1 + E_2 \exp(-E_0/kT)$  незначительно увеличивается с ростом температуры, темновой же ток при этом возрастает.

Такое поведение темнового тока с ростом температуры плохо согласуется с моделью [3], в которой предполагается инверсия типа проводимости вблизи границ зерен, являющихся туннельно-прозрачными для дырок, и заставляет предположить иное объяснение эффекта, основанное на представлениях о надбарьерной эмиссии, впервые развитых для поликристаллических структур в [4].

Существенным моментом в объяснении возрастания энергии активации может явиться предположение об увеличении высот потенциальных барьеров на границах кристаллитов с ростом температуры. Это может произойти по крайней мере по двум причинам.

1. Имеет место нарушение условия детального равновесия между МЗГ и зоной проводимости, при котором захват электронов на поверхностные уровни превосходит их эмиссию.

2. При некотором потенциальном рельефе, который во многом задается концентрацией окислителя, появляется туннельный ток, приводящий к зарядке этих состояний [4].

Кажущееся противоречие, которое заключается в возрастании темнового тока при увеличении энергии активации, можно легко устранить, если предположить слабое изменение высоты барьера и опережающий рост  $kT$ .

Отмеченные выше причины роста дрейфового барьера требуют необычного [необычна сама зависимость  $\sigma(T)$ ] поведения центров захвата или формы потенциального рельефа при возрастании температуры. По-видимому, рост температуры способствует уменьшению размеров области пространственного заряда, что приводит к увеличению напряженности электрического поля в межзеренном промежутке. Это может привести, с одной стороны, к увеличению сечения захвата носителей уровнями [5], а с другой — к появлению туннельного тока, приводящего

к зарядке состояний на МЗГ. Как первый, так и второй механизмы проводимости известны и могут реализовываться в полупроводниковых соединениях типа  $A^{IV}B^{VI}$ .

Следует отметить, что с увеличением концентрации окислителя в образцах характер температурного поведения темновой проводимости изменяется (см. рисунок, кривая 2) и в области высоких температур переходит к хорошо известной активационной зависимости, наблюдаемой в [2]. Это, безусловно, является следствием роста барьеров на МЗГ, что приводит к гашению надбарьерного эмиссионного тока или делает его несущественным по отношению к сквозному туннельному току основных носителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применения / Под ред. Г. Харбеке. М., 1989.
- [2] Неустроев Л. Н., Осипов В. В. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 2. С. 359—362.
- [3] Неустроев Л. Н., Осипов В. В. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 1. С. 59—72.
- [4] Seager C. H., Pike G. E. // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 40. N 6. P. 471—474.
- [5] Зотов В. В. // Материалы научной конференции молодых ученых университета. Одесса, 1968. С. 236—238.

Научно-исследовательский институт физики  
Одесского государственного университета  
им. И. И. Мечникова

Получено 19.02.1991  
Принято к печати 22.10.1991

*ФТП, том 26, вып. 3, 1992*

## О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ ИЗ СПЕКТРОВ ФОТОПРОВОДИМОСТИ

Арутюнян В. М., Варданян С. Х., Димаксян М. Л., Маргарян А. Л.,  
Меликсетян В. А., Саруханян Р. Э.

В связи с более широким применением различного типа границ раздела ( $p$ — $n$ -переход, гетеропереход, контакт полупроводника с металлом, диэлектриком, электролитом) идентификация и исследование роли поверхностных состояний в процессах, происходящих на этих границах, становятся все более актуальными [1,2]. Как было показано в [2-5], достаточно информативным в этом плане является исследование межфазной границы полупроводник—электролит, причем особо ценной в этом случае является возможность плавного изменения поверхностного потенциала (ПП).

В настоящей работе предложена методика, позволяющая проводить аналогичные исследования при низких температурах. Как и в [6,7], на хорошо отполированную поверхность образца наносится капля электролита, которая накрывается стеклянной пластиной. Однако в отличие от [6,7] в пластину вмонтирован металлический электрод, а полупроводник имеет тыловой омический контакт, к ним подключается внешний источник  $V_{вн}$ , с помощью которого осуществляется варьирование ПП. После установления стационарного состояния ячейка погружается в криостат и охлаждается до требуемой температуры. Для изменения значения ПП следует разморозить ячейку, изменить значение  $V_{вн}$  и вновь охладить.

Отметим, что для ряда полупроводниковых материалов (например, CdTe, ZnO) контакт с электролитом приводит к возникновению на спектральных характеристиках особенностей, чувствительных к значению ПП [2-5]. В качестве материала для исследований нами был выбран монокристалл InSe, характеризую-