

ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРОВОДИМОСТЬ И ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПЛЕНОК PbS

© К.Э.Онаркулов

Ферганский государственный университет,
712000 Фергана, Узбекистан
(Получена 6 марта 1995 г. Принята к печати 15 мая 1995 г.)

Исследовано влияние одноосной деформации сжатия и растяжения на величину проводимости и фотопроводимости поликристаллических пленок PbS при разных температурах. Изменение параметров пленок PbS объясняется в модели поликристаллических пленок с инверсионным изгибом зон на поверхности кристаллитов.

Применение деформационного метода совместно с другими, такими как использующие влияние электрических и магнитных полей, температуры и излучения, дает дополнительную информацию о физических свойствах полупроводников. Сложность интерпретации кинетики физических процессов, протекающих в поликристаллических структурах, определяет актуальность исследования влияния одноосной деформации на основные свойства поликристаллических слоев PbS.

Исследованию влияния деформации на основные свойства поликристаллов посвящено немного работ (см., например, [1,2]), и в этих работах механизмы воздействия деформации на кинетические и фотоэлектрические явления практически не обсуждаются.

Данная работа посвящена изучению влияния одноосной деформации на темновое сопротивление (R_d), напряжение фотосигнала (U_s) и на их температурные зависимости. Поликристаллические фоточувствительные слои были изготовлены, как и в [3], на слюдяных подложках. Исследование влияния деформации проводилось с помощью специального приспособления [4].

На рис. 1 приведена температурная зависимость темнового сопротивления (R_d) и напряжения фотосигнала (U_s) при одноосной деформации растяжения и сжатия. При этом величина относительной деформации была равной $\epsilon = \pm 3.5 \cdot 10^{-3}$ [4]. Из рис. 1 видно, что при понижении температуры образцов их параметры сначала изменяются термоактивационным образом, а затем выходят на насыщение, которое обусловлено влиянием фонового излучения окружающей среды

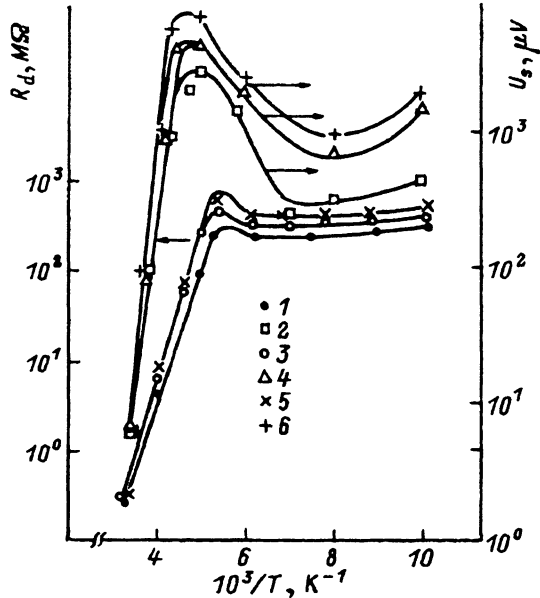


Рис. 1. Температурные зависимости R_d и U_s без деформации (1, 2), при деформации сжатия (3, 4) и растяжения (5, 6).

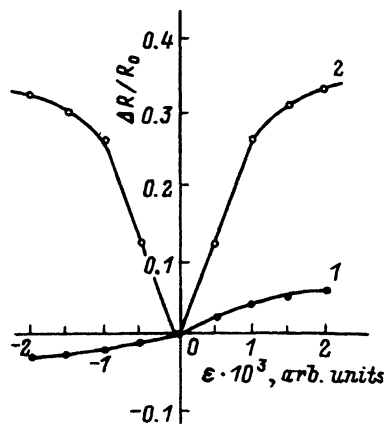


Рис. 2. Относительное изменение сопротивления при деформации сжатия и растяжения при температурах 300 (1) и 80 К (2).

[3]. Заметное влияние деформации на величину R_d и U_s проявляется при температурах $T < 220$ К. При деформации растяжения и сжатия наблюдается увеличение R_d и U_s .

Для объяснения наблюдаемых деформационных зависимостей необходимо представить себе конкретную модель фоточувствительного слоя. В работе [5] на основе модели [6] была развита теория, которая дает количественное объяснение кинетических и фотоэлектрических явлений в поликристаллических пленках PbS. Согласно этой модели, пленки PbS состоят из кристаллитов n -типа проводимости, на поверхности которых имеются инверсионные p -каналы, образующиеся в результате захвата электронов из объема на акцепторные состояния, локализованные в межкристаллитных прослойках. В пленках акцепторные состояния в межкристаллитных прослойках образованы кислородом или его комплексами [7]. Токперенос осуществляется дырками вдоль инверсионных каналов.

Рассмотрим закономерности изменения параметров пленок на основе этой модели. Согласно [5] проводимость слоя можно описать выражением

$$\sigma = e\mu_p \frac{n_i^2 a kT}{n L \varphi} \exp\left(\frac{\varphi}{kT}\right), \quad (1)$$

где L — размер кристаллитов, φ — амплитуда изгиба зон на границах; n_i — собственная, а n — реальная концентрация электронов в объеме кристаллитов. Величина φ при больших значениях концентрации акцепторных состояний в прослойках и достаточно низких температурах

задается соотношением

$$\varphi = E_F - E_s + \frac{1}{2} kT \ln \frac{e^2 N_s^2}{8\pi\kappa_0 |E_s|}, \quad (2)$$

где N_s — поверхностная концентрация акцепторных состояний, $E_s < 0$ — максимальная энергия незаполненных акцепторов в прослойках, κ — диэлектрическая проницаемость среды. κ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума, E_F — уровень Ферми. Согласно (1) и (2) энергия активации проводимости (E_σ) определяется соотношением

$$E_\sigma = -(E_g + E_s), \quad (3)$$

где E_g — ширина запрещенной зоны PbS.

Соотношение (2) может быть использовано для определения зависимости φ от уровня деформации. При деформации возможно смещение поверхностного уровня E_s относительно уровня Ферми. Согласно (3) это приводит к изменению энергии активации σ при деформации. Под действием давления изменяются E_g , E_F и E_s [8]. При одноосной деформации пленок изменение E_s определяется как

$$E_s = E_{s0} + \beta \varepsilon. \quad (4)$$

Для определения β надо знать скорость изменения поверхностного уровня при деформации. Крайними значениями β могут быть нуль (уровень не смещается при деформации) и наибольшее — скорость смещения нижнего уровня зоны проводимости.

Из формулы (2) видно, что как φ , так и скорость изменения φ зависят от плотности поверхностных состояний N_s и от положения уровня E_s . Из наклона зависимости R_d от T можем определить значение энергии активации E_σ . Значение E_σ без деформации равно 0.24 эВ, а при деформации сжатия и растяжения E_σ повышается и становится равным $E_g(\varepsilon) \approx 0.28$ эВ. Учитывая, что в PbS при $T = 300$ К $E_g = 0.41$ эВ [9], согласно (3) получим в недеформированной пленке $E_s = -0.17$ эВ, а при деформации $E_s(\varepsilon) = -0.13$ эВ. Изменение напряжения U_s при деформации и его температурная зависимость коррелируют с изменением R_d . Согласно [5] величина удельной фотопроводимости поликристаллических пленок PbS определяется формулой

$$\Delta\sigma = e\mu_p\tau_p(1 + B) \exp(E_\mu/kT), \quad (5)$$

где e — заряд электрона, μ_p — подвижность дырок в монокристаллах PbS, B — коэффициент. Отсюда видно, что величина $\Delta\sigma$ в основном определяется энергией активации подвижности (E_μ), которая в свою очередь зависит от φ . Поэтому можно сказать, что изменение фотопроводимости $\Delta\sigma$ при деформации имеет такой же характер, как и изменение проводимости.

При температурах $T < 220$ К наблюдается заметное изменение R_d и U_c при деформации. Об этом свидетельствуют полученные нами деформационные характеристики пленок при фиксированных температурах (рис. 2). видно, что, действительно, относительное изменение

сопротивления $\Delta R/R = (R_1 - R_0)/R_0$ при низких температурах намного больше, чем при комнатных. По-видимому, большой температурный коэффициент ширины запрещенной зоны приводит к заметному изменению параметров приграничной области при $T < 200$ К. Уменьшение E_g приведет к изменению E_F и E_s , и область поверхностного заряда становится чувствительной к внешним воздействиям. Наблюдаемое в эксперименте увеличение R_d и U_s при деформации сжатия и растяжения показывает, что в обоих случаях высота потенциального барьера увеличивается.

Таким образом, можно сделать вывод, что изменение параметров пленок PbS при воздействии деформации определяется изменением N_s и, следовательно, изменением E_s , т.е. изменением изгиба зон на границах кристаллитов.

Список литературы

- [1] И.М. Викулин, В.И. Стафеев. *Физика полупроводниковых приборов* (М., 1980).
- [2] А.З. Кулиев, Э.А. Абдуллаев, К.Ш. Кахраманов. *ФТП*, **5**, 1855 (1971).
- [3] Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов, К.Э. Орнаулов. *Микроэлектроника*, **15**, 244 (1986).
- [4] К.Э. Орнаулов. В сб.: *Физика полупроводниковых первичных преобразователей* (Ташкент, 1984) р. 29.
- [5] Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов. *ФТП*, **20**, 59 (1986).
- [6] Л.Н. Неустроев, В.В. Осипов. *ФТП*, **18**, 359 (1984).
- [7] Y.N. Hamphrey. *Appl. Opt.*, **4**, 665 (1965).
- [8] А.Л. Полякова. *Деформация полупроводников и полупроводниковых приборов* (М., 1979).
- [9] Ю.М. Равич, Б.А. Ефимов, П.А. Смирнов. *Методы исследования полупроводников в применении к талкогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS* (М., 1986).

Редактор Л.В. Шаронова

The influence of a uniaxial deformation on conductivity and photoconductivity of PbS films

K.E. Onarkulov

Fergana State University, 712000 Fergana, Uzbekistan

The influence of uniaxial compressive and tensile stresses on conductivity and photoconductivity of PbS photosensitive polycrystalline films has been studied. Change in parameters of PbS films is explained in a framework of a physical model of polycrystalline films with inverse band bending on crystallite surfaces.