

В. А. Смынгына

## ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЫСОКООМНЫХ ПЛЕНОК СЕЛЕНИДА КАДМИЯ

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) предварительно отожженных при 670 К в вакууме (высокоомных) пленок CdSe, измеренные в атмосфере газовой смеси с объемными долями 0,8 N<sub>2</sub>, 0,2 O<sub>2</sub> в темноте были омичны до напряжений  $V \leq 100$  В, а при  $V > 100$  В появляется область отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) или насыщения тока  $J$ , за которым следует его сверхлинейное возрастание (рис. 1, кривая 1). Последующее понижение  $V$  сопровождалось уменьшением  $J$  (рис. 1, кривая 2), а на зависимости  $J(V)$  наблюдались особенности, характерные для протекания токов, ограниченных пространственным зарядом (ТОПЗ) в полупроводниках. Гистерезис ВАХ имеет место лишь в том случае, если измерения продолжались в области  $V > 100$  В.

Эти результаты дают основание предположить, что лишь представление о полевом гашении остаточной проводимости (ОП) [1] может оказаться полезным при интерпретации наблюдаемых особенностей ВАХ. Однако дальнейшие эксперименты показали, что при освещении образцов светом даже с интенсивностью  $5 \cdot 10^3$  лк его состояние, соот-

ветствующее кривой 2 рис. 1, не изменяется, а релаксация тока после выключения освещения не имеет особенностей, характерных для ОП. Восстановление исходного состояния происходит только в результате прогрева образца при  $1 \cdot 10^{-5}$  мм рт. ст. до температур  $T \geq 420$  К. При этом появление участка ОДС на ВАХ связано с электронно-молекулярными процессами на поверхности исследуемых образцов. Это подтвер-

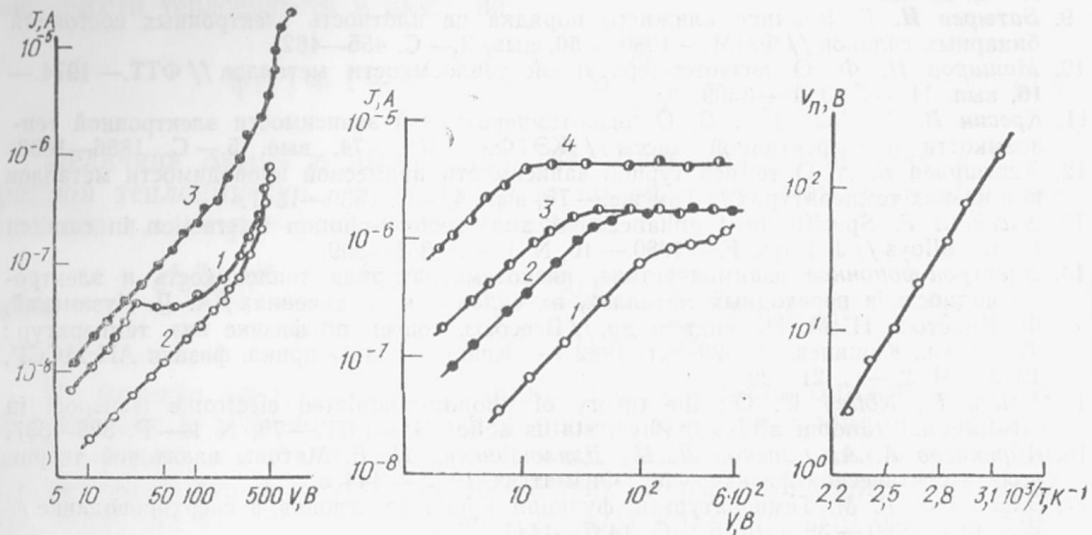


Рис. 1. ВАХ пленки CdSe, измеренные в атмосфере газовой смеси, содержащей кислород (1, 2), и в исходном состоянии в вакууме  $10^{-5}$  мм рт. ст. (3), при увеличении (1) и уменьшении (2)  $V$

Рис. 2. ВАХ пленки CdSe, измеренные при 310 (1), 348 (2), 368 (3), 390 К (4)

Рис. 3. Зависимость  $V_n(T)$

ждается видом ВАХ, измеренной в вакууме непосредственно после прогрева образца до 420 К и охлаждения до 300 К (рис. 1, кривая 3).

Используя следующие из теории ТОПЗ [2] выражения для напряжения перехода  $V_1 = ed^2n/\epsilon\theta$  от зависимости  $j \sim V$  к  $j \sim V^2$  и к пределу заполнения ловушек  $V_{пзл} = ed^2N_t/2\epsilon$ , а также учитывая выражение для  $\theta = (N_c/N_t) \exp(-E_t/kt)$ , по кривым 2 и 3 рис. 1 для давлений 760 и  $10^{-5}$  мм рт. ст. были найдены основные параметры, приведенные в таблице ( $n, N_t$  — концентрации свободных электронов и ловушек,  $E_t$  — энергетическое расстояние уровня ловушки от дна зоны проводимости,  $L_D$  — дебаевская длина экранирования).

Дрейфовые подвижности, вычисленные (с использованием данных таблицы) с помощью выражения [3]

$$\mu_d = \mu (N_c/N_t) \exp(E_t/kT) \tag{1}$$

и с учетом времени пролета  $t_{пр} = 0,768t_0$  [4]

$$\mu_d = 0,768L^2/t_{пр}V, \tag{2}$$

оказались равными соответственно  $5 \cdot 10^{-2}$  и  $1,3 \cdot 10^{-6}$   $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ . Значения  $t_0$  определены по характеристикам переходных ТОПЗ,  $\mu = 0,1 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  — характерное значение подвижности для пленок CdSe, изме-

$p$ , мм рт. ст.	$d$ , см	$n$ , $\text{см}^{-3}$	$N_t$ , $\text{см}^{-3}$	$E_t$ , эВ	$L_D$ , см
760	$8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{12}$	$6,7 \cdot 10^{13}$	0,31	$1,8 \cdot 10^{-5}$
$10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$9,5 \cdot 10^{15}$	0,19	$2,1 \cdot 10^{-6}$

ренной с помощью эффекта Холла. Сопоставляя (1) и (2), находим, что высота барьеров в исследуемых пленках  $\varphi_d$  не превышает 0,27 эВ, а концентрация отрицательного заряда, накопленного на поверхностных состояниях в области межкристаллитных границ в исходных пленках, составляет примерно  $4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ .

Считая, что распределение электронов у поверхности бoльцмановское и на каждом кристаллите падает напряжение  $V_i$ , как и в [5], плотность электронного потока через барьер  $\varphi_s$  можно представить в виде

$$j = \frac{env}{4} \exp\left(\frac{-\varphi_s + eV_i}{kT}\right) \quad (3)$$

( $v$  — тепловая скорость электронов).

С учетом (3) напряжение перехода ВАХ к насыщению

$$V_{\pi} = \left[ \frac{0,11evN_c(N_d - N_a)}{e\mu_0 N_a} \right]^{1/2} \exp\left(\frac{\varphi_d - \varphi_s + E_d}{kT}\right). \quad (4)$$

Экспериментально наблюдалось экспоненциальное уменьшение  $V_{\pi}$  с ростом температуры (рис. 2, 3), а энергия активации зависимости  $V_{\pi} = f(1/T)$  составляла 0,8 эВ (рис. 3). Энергия активации основного донорного состояния  $E_d = 0,4 \div 0,48$  эВ определена по температурным зависимостям темнового тока [3]. Таким образом, изгиб зон на поверхности кристаллитов, доступной для хемосорбции кислорода, в случае исходных слоев CdSe не превышает 0,6—0,7 эВ, а концентрация заполненных электронами поверхностных состояний составляет примерно  $10^{12} \text{ см}^{-2}$ .

В результате стимулированной полем дополнительной хемосорбции кислорода плотность заполненных электронами поверхностных состояний возрастает на  $8 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ , а поверхностный потенциальный барьер — на  $\Delta\varphi_s \approx 0,03$  эВ. Следовательно, появление участков насыщения и ОДС на ВАХ связано, главным образом, с уменьшением концентрации свободных электронов в пленках CdSe в результате захвата их на кислородные уровни.

**SUMMARY.** The formation mechanism of the negative differential resistivity (NDR) region at volt-current characteristics of vacuum-annealed high ohmic CdSe films is investigated. The appearance of the NDR part is connected with a decrease of the free electron concentration as a result of their capture into surface levels formed by chemisorbed oxygen.

1. Гашение остаточной проводимости электрическим полем / А. Г. Ждан, А. Д. Ожердов, М. И. Елинсон, М. А. Мессерер // Письма в ЖЭТФ.—1968.—8, вып. 8.—С. 402—405.
2. Marlor G. A., Woods J. Space charge limited currents in cadmium sulphide crystals // Proc. Phys. Soc.—1963.—81.—P. 1013—1021.
3. Бьюб Р. Фотопроводимость твердых тел.—М.: Изд-во иностр. лит., 1962.—559 с.
4. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах.—М.: Мир, 1973.—416 с.
5. Вищакас Ю. К., Гайделис В. И., Монтримас Э. А. Влияние межкристаллитных барьеров на кинетику фотопроводимости // Лит. физ. сб.—1966.—6.—С. 561—568.

Одес. ун-т им. И. И. Мечникова

Получено 03.01.86