

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УРОВНЕЙ ПРИЛИПАНИЯ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА ФОТОЭЛЕКТРЕТНОЕ СОСТОЯНИЕ В ПЛЕНКАХ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ

Г.А. Набиев

*Ферганский политехнический институт  
Узбекистан*

Поступила в редакцию 15.05.2008

В статье показана возможность определения параметров уровней прилипания, ответственных за фотоэлектретное состояние с помощью релаксационных кривых в пленках теллурида кадмия, легированных серебром.

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно [1], в полупроводниках фотоэлектретное состояние (ФЭС) наблюдается при генерации в них неравновесных носителей заряда, пространственном разделении электронов и дырок внешним электрическим полем, закреплении разделенных носителей на глубоких локальных уровнях.

В работе [2] показана возможность и разработана теория возникновения фотоэлектретного состояния в полупроводниках с *p-n*-переходами без внешнего поляризующего поля. Роль поляризующего поля играют внутренние поля *p-n*-переходов.

Экспериментально ФЭС было обнаружено в пленках  $\text{Na}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$  [3],  $\text{CdTe}:\text{Ag}$  [4, 5], выдержанных на воздухе при комнатной температуре пленках Si [6] и в  $\text{Si}:\text{Ag}$  [7].

В данной работе показана возможность определения параметров уровней прилипания, ответственных за фотоэлектретное состояние с помощью релаксационных кривых в пленках  $\text{CdTe}$  легированных Ag.

### МЕТОД

Развивая для данного случая теорию для одноуровневых систем [2] в предположении, что уровни не взаимодействуют между собой, что концентрация неравновесных носителей намного меньше равновесных, и учитывая условие электронейтральности, получаем для фотоэлектретного напряжения

$$V = V_{01} \exp(-t/\tau_1^*) + V_{02} \exp(-t/\tau_2^*), \quad (1)$$

где  $V_{01}$ ,  $V_{02}$  – фотоэлектретные напряжения, создаваемые первым и вторым уровнями, соответственно, при  $t = 0$ ,  $\tau_1^*$ ,  $\tau_2^*$  – характе-

ристические времена релаксации фотонапряжений, связанные первым и вторым уровнями, соответственно, которые определяются как

$$\tau_1^* = \tau'(M_1/N_c) \exp(\Delta E_{J1}/kT), \quad (2)$$

$$\tau_2^* = \tau'(M_2/N_c) \exp(\Delta E_{J2}/kT), \quad (3)$$

где  $\tau'$  – характеристическое время релаксации неравновесных носителей заряда в нелегированном полупроводнике,  $\Delta E_{J1}$ ,  $E_{J2}$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  – энергии связи электронов и концентрации примесей на первом и втором уровнях, соответственно.

Логарифмируя выражения (2), (3), получим:

$$\ln\left(\frac{\tau_1^*}{\tau'} N_c\right) = \ln M_1 + \frac{\Delta E_{J1}}{kT}, \quad (4)$$

$$\ln\left(\frac{\tau_2^*}{\tau'} N_c\right) = \ln M_2 + \frac{\Delta E_{J2}}{kT}. \quad (5)$$

Отсюда видно, что по температурной зависимости времени релаксации фотоэлектретного напряжения  $\tau_1^*$ ,  $\tau_2^*$  характеристического времени релаксации фотонапряжения  $\tau'$  можно определить энергии активации и концентрации примесей на уровнях, ответственных за фотоэлектретное состояние. Температурная зависимость в координатах

$\ln\left(\frac{\tau^*}{\tau'} N_c\right) \sim (kT)^{-1}$ , построенная для каждого

уровня должна линеаризоваться, а наклон получившихся прямых дают энергии активации соответствующих уровней. Продолжение этих линий до пересечения с осью ординат

позволяет определить концентрации примесей  $M_1, M_2$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТ

В обычных структурах фотоэлектрическое напряжение не может превышать долей вольта. В АФН-пленках (пленки, генерирующие при освещении аномально большие фотонапряжения) [8, 9], представляющих собой совокупность последовательно соединенных микро-фотоэлементов, фотоэлектрическое напряжение может достигать сотен и тысячи вольт.

Из релаксационных кривых, снятых при 300 К и 276 К, определено, что характеристическое время жизни неравновесных носителей в АФН-эффекте для пленок CdTe равно, соответственно  $\tau' = 15$  с и  $\tau' = 13$  с.

Для определения  $\tau^*$  снята зависимость  $V_{\text{ФЭН}}$  от времени при тех же температурах (300 К и 276 К). По наклону зависимости  $\ln V_{\text{ФЭН}}$  от  $t$  определено характеристическое время затухания фотоэлектрического напряжения.

Определенное таким образом  $\tau^*$  для пленок CdTe с различной концентрацией примеси Ag (пленка № 21-4, пленка № 32-4 при 300 К) оказалось равным 19,6 мин и 71,6 мин., соответственно, в тех же пленках при 276 К  $\tau^*$  равняется 1568 и 10626 мин соответственно. Видно, что с увеличением концентрации примесей растет как  $V_{\text{ФЭН}}$ , так и  $\tau^*$ , что соответствует (2) и (3).

Построенная на основе этих данных зави-

симость  $\ln\left(\frac{\tau^*}{\tau'} N_c\right)$  от  $(kT)^{-1}$  приведена на рис. 1.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Найденное из этого графика значение энергии активации первого уровня равно:  $E_c - 1,18$  эВ, а концентрация примесей  $M_1 = 10^6 \text{ м}^{-3}$ . Энергия активации второго уровня оказалась равной  $E_c - 1,35$  эВ, а концентрация примесей  $M_2 = 0,7 \cdot 10^4 \text{ м}^{-3}$ . Обработка результатов для пленок № 32-4, таким же образом, дает те же результаты для уровня активации, а концентрация примесей равна  $M_1 = 1,65 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$  и  $M_2 = 0,96 \cdot 10^4 \text{ м}^{-3}$  для первого и второго уровней, соответственно.

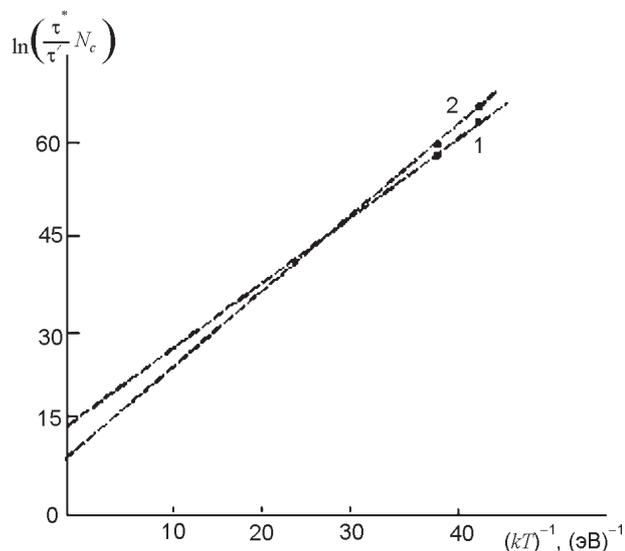


Рис. 1. Зависимость  $\ln\left(\frac{\tau^*}{\tau'} N_c\right)$  от  $(kT)^{-1}$  для пленок CdTe:Ag. 1 – соответствует первому уровню, 2 – второму.

Результаты данной работы показывают, что серебро образует в теллуриде кадмия акцепторные уровни  $E_c - 1,18$  эВ и  $E_c - 1,35$  эВ, которые являются ловушками для электронов, что согласуется с [10].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что на основе изучения релаксационных характеристик АФН-эффекта и фотоэлектрического напряжения, как минимум при двух температурах можно определить энергию активации и концентрацию примесей в  $p-n$ -переходных структурах с двумя глубокими уровнями.

По-видимому, на основе изучения релаксации фотонапряжения в нелегированных и легированных структурах, в которых отсутствует фотоэлектрический эффект, но ощутимы влияния уровней на релаксационный процесс, возможно определение энергии активации и концентрации примесей. В случае, когда реализуется фотоэлектрическое состояние  $\tau^* > \tau'$ , поэтому точность определения параметров намного больше, чем в случае обычных релаксационных процессов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальский П.Н., Шнейдер А.Д. Фотоэлектрический эффект в полупроводниках. – Львов: Вища школа, 1977. – 150 с.

2. Адирович Э.И. Фотоэлектретное состояние в полупроводниках с *p-n*-переходами//ФТП. – 1970. – Т. 4, Вып. 4. – С. 745-753.
3. Базакуца В.А., Кулибаба В.Д. Фотоэлектреты нового типа на основе АФН-слоев  $\text{Na}_2\text{S}\cdot\text{Sb}_2\text{S}_3$  //ФТП. –1975. – Т. 9, Вып. 7. – С. 1432-1434.
4. Эргашев Дж.Э. Фотополяризация в АФН-пленках теллурида кадмия ( $\text{CdTe:Ag}$ ) с микро *p-n*-переходами//ФТП. – 1978.– Т. 12, Вып. 1. – С.171-174.
5. Набиев Г.А. Фотоэлектретный эффект без внешнего поляризующего поля в полупроводниковых пленках//В кн.: XVIII международная конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (тезисы докладов), Москва. – 2004. – С. 160-161.
6. Абдуллаев Н. Фотоэлектретное состояние без внешнего поляризующего поля в АФН-пленках  $\text{Si}$ // Изв. Вузов. Физика. – 1988. – № 4. – С. 107-108.
7. Набиев Г.А. Фотоэлектретное состояние без внешнего поляризующего поля в пленках  $\text{Si:Ag}$ //Письма в ЖТФ.– 2007.– Т. 33, Вып. 20. – С. 1-4.
8. Адирович Э.И. и др. Аномально большие фотоэлектрический и фотомагнитный эффекты в полупроводниковых пленках//Сб. Фотоэлектрические явления в полупроводниках и оптоэлектроника.– Ташкент: ФАН. – 1972. – С. 143-229.
9. Агарев В.Н., Степанова Н.А. К теории эффекта аномального фотонапряжения в многослойных структурах с *p-n*-переходами//ФТП. – 2000. – Т. 34, № 4. – С. 452-455.
10. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках. – М.: Мир, 1977. – 562 с.

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РІВНІВ  
ПРИЛИПАННЯ, ВІДПОВІДАЛЬНИХ ЗА  
ФОТОЕЛЕКТРЕТНИЙ СТАН У ПЛІВКАХ  
ТЕЛУРІДА КАДМІЮ**

**Г.А. Набієв**

У статті показана можливість визначення параметрів рівнів прилипання, відповідальних за фотоелектретний стан за допомогою релаксаційних кривих у плівках телурида кадмію, легованих сріблом.

**DETERMINATION OF CAPTURE LEVELS  
PARAMETERS RESPONSIBLE FOR  
PHOTOELECTRET STATE IN CADMIUM  
TELLURIDE FILMS**

**G.A. Nabiev**

In the paper, an ability of determination of capture levels parameters, which are responsible for photoelectret state using relaxation curves in silver-doped cadmium telluride films been studied.