

Определение механизмов генерации фотонапряжения в полупроводниковых пленках с помощью спектральных зависимостей коэффициента поглощения и фотонапряжения

© Г.А. Набиев[¶]

Ферганский политехнический институт,
105107 Фергана, Узбекистан

(Получена 5 августа 2008 г. Принята к печати 15 декабря 2008 г.)

Предложен метод определения механизма генерации фотонапряжения в полупроводниковых пленках: разделение носителей на p - n -переходе или фотодиффузия носителей. Метод основан на спектральных характеристиках коэффициента поглощения и фотонапряжения.

PACS: 73.50.Pz

Генерация фотонапряжения в полупроводниковых пленках складывается из двух процессов: 1) генерация неравновесных носителей заряда, 2) пространственное разделение электронов и дырок. Первый процесс осуществляется, как правило, воздействием света. Второй процесс может быть осуществлен на барьерах различного рода или с помощью фотодиффузионного эффекта (эффект Дембера) в однородных областях. Однако надежного метода разделения этих двух механизмов не существует.

При разделении механизмов генерации фотонапряжения в полупроводниковых пленках методом снятия зависимости фотонапряжения от угла падения света [1] необходимым условием является выполнение критерия сильного поглощения: $\kappa d \gg 1$ (κ — коэффициент поглощения, d — толщина образца). Анализ литературных данных [1–4] и наших исследований показывает, что для некоторых пленок это условие не выполняется. Только в тонких пленках полупроводниковых материалов, в которых реализуется случай слабого поглощения ($\kappa d \ll 1$), генерируются значительные фотонапряжения.

В данной работе предложен метод определения механизма генерации фотонапряжения с помощью спектральных зависимостей коэффициента поглощения (κ) и генерируемого фотонапряжения (V) от длины волны света (λ). Для увеличения чувствительности апробация методики проводилась на пленках с аномально большими фотонапряжениями [1–4].

Аномально большое фотонапряжение, генерируемое за счет разделения неосновных носителей заряда в структуре с p - n -переходами, выражается известным соотношением:

$$V_B = N \frac{kT}{e} \ln(1 + I_{ph}/I_s), \quad (1)$$

где N — число p - n -переходов, k — постоянная Больцмана, T — температура, e — заряд электрона, I_{ph} , I_s — фототок и ток насыщения p - n -перехода соответственно.

Фотонапряжение, генерируемое за счет фотодиффузии носителей, есть

$$V_D = N \frac{kT}{e} \frac{b-1}{b+1} \ln(1 + \Delta\sigma/\sigma_0), \quad (2)$$

где b — отношение подвижности электронов к подвижности дырок, $\Delta\sigma$ — разность увеличения удельной проводимости при освещении на границах однородной области, σ_0 — темновая удельная проводимость.

Однотипность выражений (1) и (2) затрудняет выбор метода определения механизмов генерации фотонапряжения. Анализ кинетических различий фотовольтаического эффекта на барьерах и фотодиффузионного эффекта в однородных областях показывает, что наиболее отчетливо различие в спектральных зависимостях должно проявиться в длинноволновой части спада фотонапряжения.

В области сильных внутренних электрических полей p - n -перехода генерированные светом неравновесные носители разделяются полем.

Из самого определения фотодиффузионного эффекта как эффекта возникновения фотонапряжения при неоднородном освещении ясно, что он максимален при освещении сильно поглощаемым светом. Именно в этом случае создается максимальный градиент концентрации, необходимый для диффузионного процесса. Разделение носителей происходит за счет различия подвижностей электронов и дырок. С увеличением длины волны увеличивается глубина проникновения света, оставляя меньшее пространство для развития диффузии.

В работе [2] было показано, что в длинноволновой области и при выполнении условия слабого поглощения ($\kappa d \ll 1$) $I_{ph}/I_s = c_B \kappa$, а $\Delta\sigma/\sigma_0 = c_D \kappa^2$, где c_B и c_D — коэффициенты пропорциональности, не зависящие от коэффициента поглощения; при $n_0 = p_0$, $\Delta n = \Delta p$ $c_B = \eta \tau Q/n_0$, $c_D = \eta \tau Q d/n_0$. Здесь n_0 , p_0 — равновесные концентрации электронов и дырок, Δn , Δp — неравновесные концентрации электронов и дырок соответственно, η — квантовый выход, τ — время жизни носителей, Q — квантовый поток.

[¶] E-mail: gulamnabi@mail.ru

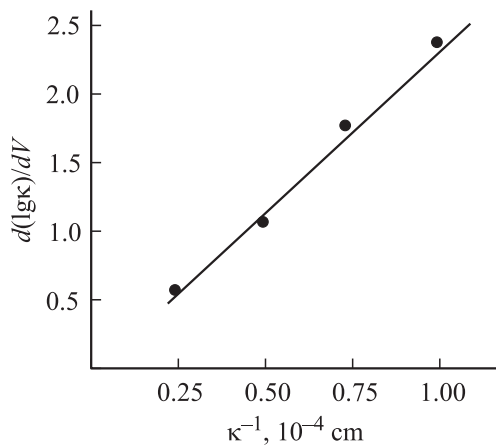


Рис. 1. Зависимость $d(\lg \kappa)/dV$ от κ^{-1} для пленок CdTe.

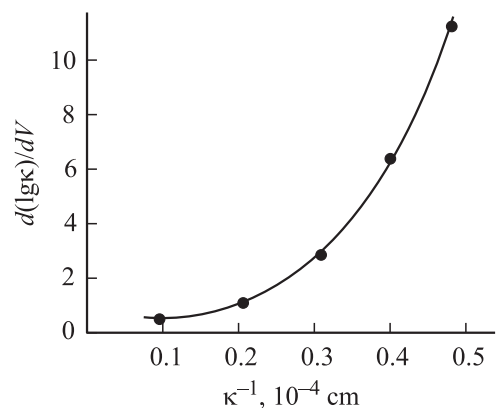


Рис. 2. Зависимость $d(\lg \kappa)/dV$ от κ^{-1} для пленок Si.

Разделение механизмов генерации фотонапряжения при произвольной степени освещения можно произвести определением функции $d(\lg \kappa)/dV$.

Так, для случая барьерной модели

$$\frac{d(\lg \kappa)}{dV_B} = A_B + \frac{1}{\kappa} B_B, \quad (3)$$

где

$$A_B = \frac{e}{2.3NkT}, \quad B_B = \frac{1}{c_B} A_B.$$

Для случая фотодиффузионной модели

$$\frac{d(\lg \kappa)}{dV_D} = A_D + \frac{1}{\kappa^2} B_D, \quad (4)$$

где

$$A_D = \frac{e}{4.6NkT} \frac{b+1}{b-1}, \quad B_D = \frac{1}{c_D} A_D.$$

Из выражений (3) и (4) видно, что зависимость $d(\lg \kappa)/dV$ от κ^{-1} та же, что и зависимость вторых слагаемых под знаком \lg от κ в соответствующих выражениях (1) и (2).

Обработка экспериментальных результатов работ [1,5] путем графического дифференцирования зависимостей

$V(\lambda)$ и $\kappa(\lambda)$ для пленок в длинноволновой области при выполнении условия слабого поглощения приведена на рис. 1 и 2. На рис. 1, где приведены результаты для пленок CdTe, видно, что получается линейная зависимость, откуда следует, что генерируемое фотонапряжение в пленках CdTe имеет барьерную природу. Параболическая зависимость исследуемой функции для пленок Si (рис. 2) свидетельствует о фотодиффузионной природе фотонапряжения в этих пленках.

Таким образом, показано, что исследованием спектральных зависимостей коэффициента поглощения и фотонапряжения в полупроводниковых пленках можно определить механизм процессов и выбрать модели для объяснения наблюдаемых явлений.

Данная методика может быть применена и для определения механизмов генерации фотонапряжения в других полупроводниковых пленках.

Список литературы

- [1] Э.И. Адирович и др. В сб.: *Фотоэлектрические явления в полупроводниках и оптоэлектроника* (Ташкент, Изд-во, ФАН, 1972) с. 143.
- [2] Э.И. Адирович и др. Изв. АН УзССР. Сер. физ.-мат. наук, № 3, 82 (1975),
- [3] Н. Абдуллаев. ФТП, **20**, 1742 (1986).
- [4] В.Н. Агарев, Н.А. Степанова. ФТП, **34**, 452 (2000).
- [5] Э.И. Адирович, Ю.М. Юабов. ДАН СССР, **155** (6), 1286 (1964).

Редактор Л.В. Шаронова

Determination of mechanisms of photovoltage generation in semiconductor films using spectral dependences of absorption coefficient and photovoltage

G.A. Nabyev

Fergana Polytechnical Institute,
105107 Fergana, Uzbekistan

Abstract A method is proposed for determination of photovoltage generation mechanism in semiconductor films: division of carriers at the $p-n$ junction or carrier photodiffusion. The method is based on spectral characteristics of absorption coefficient and photovoltage.