

¹Жалалов Равшанбек Махмудханович,

²Икрамов Рустамжан Гуломжанович,

²Нуриддинова Машхурахан Анваровна

²Мўминов Хуршид Адхамжон угли,

²Султанов Бобур Кобилжан угли,

²Холмирзаев Ойбек Тожимирзаевич

¹Наманганский государственный университет,

²Наманганский инженерно-технологический институт,

[E-mail: rjalolov79@mail.ru](mailto:rjalolov79@mail.ru)

УДК 535.015

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ В ДЕФЕКТАХ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Аннотация. В настоящей работе предлагается, новый метод определения плотности дефектных состояний аморфных полупроводников. Показано что, если измерена экспериментальная кривая спектра оптического поглощения аморфного полупроводника, используя, этого спектра можно определит распределению плотности электронных состояний дефектов. Используя формулу Кубо-Гринвуда написанного для спектра дефектного поглощения и экспериментального спектра дефектного поглощения, определены плотности электронных состояний дефектов в аморфных полупроводниках.

Ключевые слова. Аморфные полупроводники, оптические переходы электронов с участием дефектов, парциальные спектры дефектного поглощения, плотность электронных состояний в дефектах.

¹Jalalov Ravshanbek Maxmudxanovich,

²Ikramov Rustamjon G'ulomjanovich,

²Nuriddinova Mashxuraxon Anvarovna

²Mo'minov Xurshid Adxamjon o'g'li,

²Sultanov Bobur Kobiljan o'g'li,

²Xolmirzayev Oybek Tojimirzayevich

¹Namanganskiy davlat universiteti,

²Namangan muhandislik -texnologiya instituti,

[E-mail: rjalolov79@mail.ru](mailto:rjalolov79@mail.ru)

УО'К 535.015

AMORF YARIMO‘TKAZGICHLARDA NUQSONLARDAGI ELEKTRON HOLATLAR ZICHLIGINI HISOBLASHNING YANGI USULI

Annotatsiya: Ushbu ishda amorf yarimo‘tkazgichlarda nuqsonli holatlar zichligini aniqlashning yangi usuli taklif etilmoqda. Ko‘rsatilganidek, agar amorf yarimo‘tkazgichning optik yutilish spektrining tajriba orqali o‘lchangan egri chizig‘i mavjud bo‘lsa, ushbu spektrdan foydalangan holda nuqsonli elektron holatlar zichligining taqsimotini aniqlash mumkin. Kubo-Grinvud formulasini nuqsonli yutilish spektri va tajriba orqali o‘lchangan yutilish spektri uchun yozilganidan foydalanib, amorf yarimo‘tkazgichlardagi nuqsonli elektron holatlar zichligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: Amorf yarimo‘tkazgichlar, nuqsonlar ishtirokidagi elektronlarning optik o‘tishlari, nuqsonli yutilishning parsial spektrlari, nuqsonlardagi elektron holatlar zichligi.

¹Jalalov Ravshan Makhmudkhanovich

²Ikramov Rustamjon Gulomzhanovich

²Nuriddinova Mashkharaxon Anvarovna

²Muminov Khurshid Adkhamjon ugli

²Sultanov Bobur Kobilzhan ugli

²Kholmiraev Oybek Tozhimirzaevich

¹Namangan State University

²Namangan Institute of Engineering and Technology

UDC 535.015

A New Method for Calculating the Density of Electronic States in Defects of Amorphous Semiconductors

Annotation: This paper proposes a new method for determining the density of defect states in amorphous semiconductors. It is shown that, if the experimental curve of the optical absorption spectrum of an amorphous semiconductor is measured, the distribution of the density of defect electron states can be determined using this spectrum. Using the Kubo-Greenwood formula, written for the defect absorption spectrum and the experimental defect absorption spectrum, the densities of defect electron states in amorphous semiconductors are determined.

Keywords: Amorphous semiconductors, optical transitions of electrons involving defects, partial spectra of defect absorption, density of electron states in defects.

Введение. Известно, что основные дефекты в гидрогенизированном аморфном кремнии (α -Si:H) разделяются на три типа. D^0 -нейтральный

дефект, имеющий один электрон и одну дырку, D^- - дефект с отрицательным зарядом имеющий два электрона и D^+ - дефект с положительным зарядом имеющий две дырки.

Анализ литературы

В работах [1, 2] для энергетических положений и концентраций этих дефектов для $\alpha\text{-Si:H}$, полученного в тлеющем газовом разряда, приведены следующие результаты $\varepsilon_D^0 - \varepsilon_V \approx 0,78$ эВ, $\varepsilon_D^- - \varepsilon_V \approx 0,5$ эВ, $\varepsilon_D^+ - \varepsilon_V \approx 1,28$ эВ и $N_D^0 = 4.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_D^- = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $N_D^+ = 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Методология исследования

В работе [3] показано, что вне зависимости от зарядового состояния дефектов, они участвуют во всех оптических переходах электронов.

Поскольку, в $\alpha\text{-Si:H}$ спектры дефектного поглощения начинаются, когда для энергии поглощенных фотонов выполняется условие $1,4 \text{ эВ} \leq \hbar\omega$. В таких энергиях в общем случае, учитывая число дефектных состояний в $\alpha\text{-Si:H}$, одновременно могут происходить восемнадцать оптических переходов с участием этих состояний. А также осуществляется оптический переход от хвоста валентной зоны на хвост зоны проводимости (экспоненциальное поглощение). Расчет спектров экспоненциального поглощения приведены в работе [4].

Для энергии поглощенных фотонов при выполнении условия $\varepsilon_{D1} - \varepsilon_V > \hbar\omega$ (1 область), электроны переходят только от хвоста валентной зоны в дефект, а при выполнении условия $\varepsilon_{D1} - \varepsilon_V < \hbar\omega$ (2 область) электроны, одновременно переходят от валентной зоны и от её хвоста на дефект. Где ε_{D1} — энергетическое положение точки пересечения распределения электронных состояний, хвоста валентной зоны и дефекта (рис. 1.), ε_V — верхняя граница валентной зоны.

При выполнении условия 3 - $\varepsilon_C - \varepsilon_{D2} > \hbar\omega$ электроны переходят только от дефектов в хвост зоны проводимости, а при выполнении условия 4 - $\varepsilon_C - \varepsilon_{D2} < \hbar\omega$ оптические переходы электронов одновременно, происходят от дефектных состояний в хвост зоны проводимости, а также в зону проводимости. Где ε_{D2} - энергетическое положение точки пересечения распределения, электронных состояний хвоста зоны проводимости и дефектных состояний (рис. 1.), ε_C - нижняя граница зоны проводимости.

Экспериментальные спектры дефектного поглощения определяется суммой парциальных спектров соответствующие вышеуказанным оптическим переходам электронов. Поэтому теоретический расчет спектров дефектного поглощения $\alpha\text{-Si:H}$, является, очень сложной задачей в физике аморфных полупроводников.

Так как, эксперимент даёт сумму парциальных спектров соответствующим вышеуказанным оптическим переходам с участием дефектов. Для этих оптических переходов формулу Кубо-Гринвуда в приближения Дэвиса-Мотта от валентной зоны на дефект можно написать следующим образом, когда, $\varepsilon_{D1} - \varepsilon_V < \hbar\omega$ [5]

:

$$\alpha(\hbar\omega) = A \int g_v(\varepsilon) g_D(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (1)$$

или

$$\alpha(\hbar\omega) = A \int g_v(\varepsilon - \hbar\omega) g_D(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (2)$$

где A - коэффициент пропорциональности, не зависящий от энергии ($\hbar\omega$) поглощенных фотонов, $g_v(\varepsilon)$, $g_v(\varepsilon - \hbar\omega)$ и $g_D(\varepsilon - \hbar\omega)$ $g_D(\varepsilon + \hbar\omega)$ $g_D(\varepsilon)$ - плотности начальных и конечных электронных состояний участвующие в оптических переходах, соответственно, $g_D(\varepsilon)$ - плотность электронных состояний в дефектах, $g_v(\varepsilon)$ - плотности электронных состояний в хвосте валентной зоны и самой валентной зоне. Из этих формул видно, что, значения коэффициента поглощения сильно

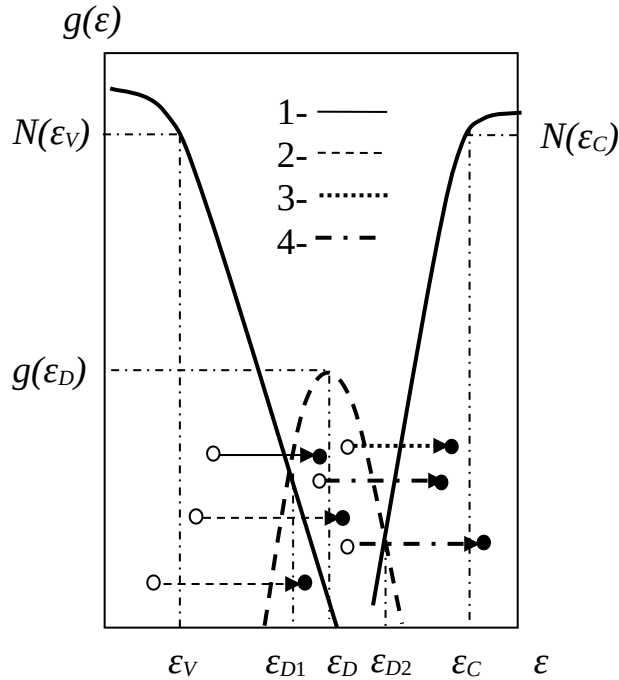


Рис. 1. Типы оптических электронных переходов с участием дефектных состояний происходящих в аморфных полупроводниках при энергии поглощенных фотонов.

1 - $\varepsilon_{D1} - \varepsilon_V < \hbar\omega$ и 2 - $\varepsilon_{D1} - \varepsilon_V < \hbar\omega$,
- $\varepsilon_C - \varepsilon_{D2} > \hbar\omega$ и 4 - $\varepsilon_C - \varepsilon_{D2} < \hbar\omega$.

3

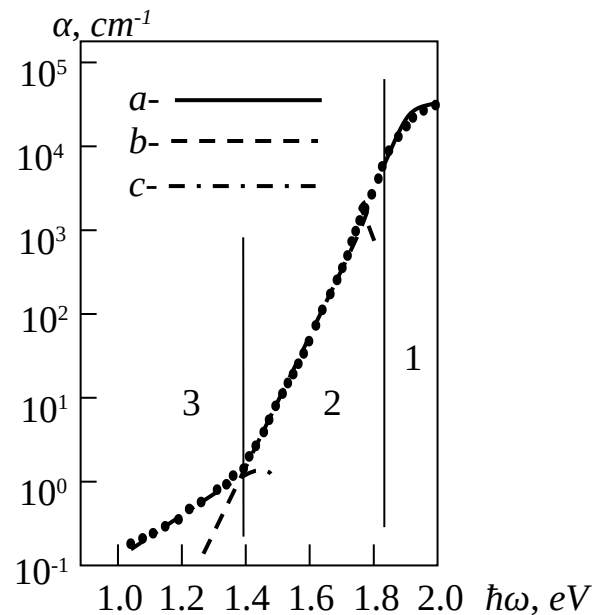


Рис. 2. Экспериментальный спектр α -Si:H. Где участки 1 – межзонного, 2 – экспоненциального, 3 – дефектного поглощения. Рассчитанные спектры оптического поглощения α -Si:H

a – межзонное поглощения,
 b – экспоненциального поглощения,
 c – дефектного поглощения.

зависят от распределения плотности электронных состояний, участвующих в оптических переходах.

Для получения аналитических решений спектров вышеуказанных оптических переходов, надо знать распределения плотности электронных состояний участвующие в оптических переходах. Обычно для этого применяют эмпирические модели, во всех этих моделях распределение электронных состояний в разрешенных зонах выбираются в параболическом или линейном виде. А распределение расположенных в хвостах разращенных зон является экспоненциальными [6,7]. Электронные состояния, расположенные в дефектах подчиняется распределению Гаусса или гиперболического секанса [8]. Учитывая этого, распределение электронных состояний выбираем в таких видах: Для валентной зоны и для его хвоста;

$$g_v(\varepsilon) = N(\varepsilon_v) \left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon}{E_g} \right)^{n_1}, \quad n_1 = 1/2, 1 \quad \text{и} \quad g_v(\varepsilon) = N(\varepsilon_v) \exp(-\beta_1(\varepsilon - \varepsilon_v)). \quad (3)$$

А для дефектных состояний;

$$g_D(\varepsilon) = \frac{g(\varepsilon_D)}{\operatorname{ch}(b(\varepsilon - \varepsilon_D))} = \frac{2g(\varepsilon_D)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D))}, \quad (4)$$

или

$$g_D(\varepsilon) = g(\varepsilon_D) \exp(-a(\varepsilon - \varepsilon_D)^2). \quad (5)$$

Где $N(\varepsilon_v)$ - и, $N(\varepsilon_c)$ - эффективные значение плотности электронных состояний в валентной зоне и зоны проводимости, $g(\varepsilon_D)$ -максимальное значение плотности электронных состояний в дефектах.

В работе [9] для получения аналитических решений спектров коэффициента дефектного поглощения интегралы в формулах (1) и (2) написано определенной форме, и получены все парциальные спектры дефектного поглощения вышеуказанных оптических переходов. Из расчета этих спектров показано, что значению спектров дефектного поглощения в основном определяют оптические переходы электронов между дефектными состояниями и разрешенными зонами.

Когда $\varepsilon_{D1} - \varepsilon_v > \hbar\omega$, формула (1) написано следующим образом для оптических переходов электронов, от хвоста валентной зоны на дефект:

$$\alpha = A \int_{\varepsilon_{D1} - \hbar\omega}^{\varepsilon_{D1}} g_v(\varepsilon) g_D(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} \quad (6)$$

Когда выполняются условия $\varepsilon_{D1} - \varepsilon_v > \hbar\omega$ учитывая, всех возможных оптических переходов электрона, эту формула написано следующим образом:

$$\begin{aligned} \alpha &= A \int_{\varepsilon_{D1} - \hbar\omega}^{\varepsilon_{D1}} g_v(\varepsilon) g_D(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = A \int_{\varepsilon_v}^{\varepsilon_{D1}} g_v(\varepsilon) g_D(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} + A \int_{\varepsilon_{D1} - \hbar\omega}^{\varepsilon_v} g_v(\varepsilon) g_D(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \\ &= \alpha_1 + \alpha_2 \end{aligned} \quad (7)$$

Где α_1 - парциальный спектр оптических переходов электрона от хвоста валентной зоны на дефект, α_2 – парциальный спектр оптических переходов электрона от валентной зоны на дефект.

Для условий $\varepsilon_{D1}-\varepsilon_V > \hbar\omega$ формула (2) написано в форме определенного интеграла:

$$\alpha = A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_{D1}+\hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) g_D(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} \quad (8)$$

А для условия $\varepsilon_{D1}-\varepsilon_V < \hbar\omega$ в соответствии с оптическими переходами электронов

$$\begin{aligned} \alpha &= A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_{D1}+\hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) g_D(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = A \int_{\varepsilon_V+\hbar\omega}^{\varepsilon_{D1}+\hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) g_D(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} + A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V+\hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) g_D(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \\ &= \alpha_1 + \alpha_2 \end{aligned} \quad (9)$$

Где α_1 - парциальный спектр оптических переходов электрона от хвоста валентной зоны на дефект, α_2 – парциальный спектр оптических переходов электрона от валентной зоны на дефект.

Из формулы (8) и (9) видно, что в зависимости от оптических электронных переходов от валентной зоны на дефект можно исследовать отдельно.

Учитывая это, в настоящей работе предлагается новый метод определение распределение плотности электронных состояний в дефектах из формулы Кубо-Гринвуда (2).

В работе [10] представлены экспериментальные результаты спектра оптического поглощения α -Si:H (рис.2).

В работе [9] вычислены парциальные спектры для всех оптических переходов электрона с участием дефектных состояний. Но вышеуказанным значениям энергетического положения и концентрации дефектных состояний, суммарное значение парциальных спектров дефектного поглощения, не соответствовало экспериментального спектра, дефектного поглощения (рис. 2).

Дальнейшие расчеты показали, что для D^+ дефекта только в значениях $\varepsilon_D^+ - \varepsilon_V \approx 1,28$ эВ, $N_D^+ = 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $b = 10 \text{ эВ}^{-1}$ спектр дефектного поглощения для электронных переходов от валентной зоны в дефект, соответствовало к экспериментальным результатам (рис. 3). Это означает, что в аморфном гидрогенизированном кремнии α -Si:H (рис.2) значения спектра дефектного поглощения определяется в основном с оптическими переходами электронов от валентной зоны в D^+ дефект. Для этих электронных переходов, интеграла в определенной форме в формулах (1) и (2) написано следующим образом [9]:

$$\alpha(\hbar\omega) = A \int_{\varepsilon_{D1}-\hbar\omega}^{\varepsilon_V} g_V(\varepsilon) g_D(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (10)$$

$$\alpha(\hbar\omega) = A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V + \hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) g_D(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}. \quad (11)$$

Аналитические парциальные спектры дефектного поглощения, полученные по этим формулам, дали одну и тоже решению. Поэтому для определения парциального спектра дефектного поглощения можно использовать формулы (10) и (11).

Так как нужно определить распределению плотности электронных состояний в D^+ дефекта, используем формулу (11).

В работе [11] для производной по одной переменной от интеграла двух переменных написана следующая формула:

$$\frac{d}{dy} \int_{\alpha(y)}^{\beta(y)} f(x, y) dx = \int_{\alpha(y)}^{\beta(y)} \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} dx + \frac{\partial \beta(y)}{\partial y} f(\beta(y), y) - \frac{\partial \alpha(y)}{\partial y} f(\alpha(y), y). \quad (12)$$

На эту выражению подставляя в формулу (11) получаем для распределений энергетических состояний D^+ дефекта:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha}{\partial \hbar\omega} &= A \frac{\partial}{\partial \hbar\omega} \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V + \hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) g_D(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \\ &= A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V + \hbar\omega} g_D(\varepsilon) \frac{\partial}{\partial \hbar\omega} \frac{g_V(\varepsilon - \hbar\omega)}{\hbar\omega} d\varepsilon + g_D(\varepsilon_V + \hbar\omega) g_V(\varepsilon_V) = \\ &= A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V + \hbar\omega} g_D(\varepsilon) \frac{\hbar\omega \frac{\partial}{\partial \hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) - g_V(\varepsilon - \hbar\omega)}{\hbar\omega^2} d\varepsilon + g_D(\varepsilon_V + \hbar\omega) g_V(\varepsilon_V) = \\ &= A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V + \hbar\omega} g_D(\varepsilon) \frac{\partial}{\partial \hbar\omega} g_V(\varepsilon - \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} - \frac{\alpha}{\hbar\omega} + g_D(\varepsilon_V + \hbar\omega) g_V(\varepsilon_V) \end{aligned} \quad (13)$$

В эту формулу подставляем, распределения электронных состояний в валентной зоне и D^+ дефекте используя модель распределений плотности электронных состояний (3)-(5):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha}{\partial \hbar\omega} &= A \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V + \hbar\omega} \frac{g(\varepsilon_D)}{\text{ch}(b(\varepsilon - \varepsilon_D))} \frac{\partial}{\partial \hbar\omega} (N(\varepsilon_V) \left(\frac{\varepsilon_C - \varepsilon - \hbar\omega}{E_g \hbar\omega} \right) d\varepsilon - \frac{\alpha}{\hbar\omega} + \frac{A}{\hbar\omega} N(\varepsilon_V) \left(\frac{\varepsilon_C - \varepsilon_V}{E_g} \right) + \\ &+ \frac{g(\varepsilon_D)}{\text{ch}(b(\varepsilon_V + \hbar\omega - \varepsilon_D))} = \frac{Ag(\varepsilon_D)N(\varepsilon_V)}{E_g \hbar\omega} \int_{\varepsilon_{D1}}^{\varepsilon_V + \hbar\omega} \frac{d\varepsilon}{\text{ch}(b(\varepsilon - \varepsilon_D))} - \frac{\alpha}{\hbar\omega} + \frac{Ag(\varepsilon_D)N(\varepsilon_V)}{\hbar\omega} \frac{1}{\text{ch}(b(\varepsilon_V + \hbar\omega - \varepsilon_D))} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha}{\partial \hbar\omega} &= \frac{2Bg(\varepsilon_D)}{bN(\varepsilon_C)\hbar\omega E_g} [\text{arctg} \exp(b(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega)) - \text{arctg} \exp(b(\varepsilon_{D1} - \varepsilon_D))] - \\ &- \frac{\alpha}{\hbar\omega} + \frac{B}{N(\varepsilon_C)\hbar\omega} g_D(\varepsilon_V + \hbar\omega - \varepsilon_D) \end{aligned} \quad (15)$$

Способ определения $g(\varepsilon_D)$ также представлено в работе [9].

Теперь будем, определять энергетические положения этих состояний.

$$g_D(\varepsilon - \varepsilon_D) = g_D(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega), \quad \varepsilon = \varepsilon_V + \hbar\omega. \quad (16)$$

Из этого следует, что энергетическое положение D^+ дефекта расположено выше $\hbar\omega$ от верхней границы валентной зоны. Из формулы (16) получаем:

$$g_D(\varepsilon) = \frac{g(\varepsilon_D)}{\text{ch}(b(\varepsilon - \varepsilon_D))} = \frac{g(\varepsilon_D)}{\text{ch}(b(\varepsilon_V + \hbar\omega - \varepsilon_D))}. \quad (17)$$

Из формулы (15) для $g_D(\varepsilon)$ получаем:

$$g_D(\varepsilon) = \frac{N(\varepsilon_C)\hbar\omega}{B} \left(\frac{\partial \alpha}{\partial \hbar\omega} + \frac{\alpha}{\hbar\omega} - \frac{2Bg(\varepsilon_D)}{bN(\varepsilon_C)\hbar\omega E g} \times \right. \\ \left. \times [\arctg \exp(b(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega)) - \arctg \exp(b(\varepsilon_{D1} - \varepsilon_D))] \right). \quad (18)$$

Усредняя значение коэффициента дефектного поглощения и поглощенных фотонов формулу (18) напомним следующим образом:

$$g_{Di}(\varepsilon) = \frac{N(\varepsilon_C)(\hbar\omega_{i+1} + \hbar\omega_i)}{2B} \left(\frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{\hbar\omega_{i+1} - \hbar\omega_i} + \frac{\alpha_{i+1} + \alpha_i}{\hbar\omega_{i+1} + \hbar\omega_i} \right) \times \\ \times [\arctg \exp(b(\varepsilon_V - \varepsilon_D + (\hbar\omega_{i+1} + \hbar\omega_i)/2)) - \arctg \exp(b(\varepsilon_{D1} - \varepsilon_D))]. \quad (19)$$

А формулу (17) напомним следующим образом:

$$g_{Di}(\varepsilon) = \frac{g(\varepsilon_D)}{\text{ch}(b(\varepsilon_i - \varepsilon_D))} = \frac{g(\varepsilon_D)}{\text{ch}(b(\varepsilon_V + \frac{\hbar\omega_{i+1} + \hbar\omega_i}{2} - \varepsilon_D))}, \quad (20)$$

где α_i , α_{i+1} , $\hbar\omega_i$, $\hbar\omega_{i+1}$ значения дефектного поглощения и энергии поглощенных фотонов, рассчитанные из формулы (11), полученных для оптических переходов электрона от валентной зоны на D^+ дефект (рис. 3).

На формулы (19) и (20) подставим значение, полученные из парциального спектра показанные на рис. 3.

Рассчитанные плотности электронных состояний в дефекте D^+

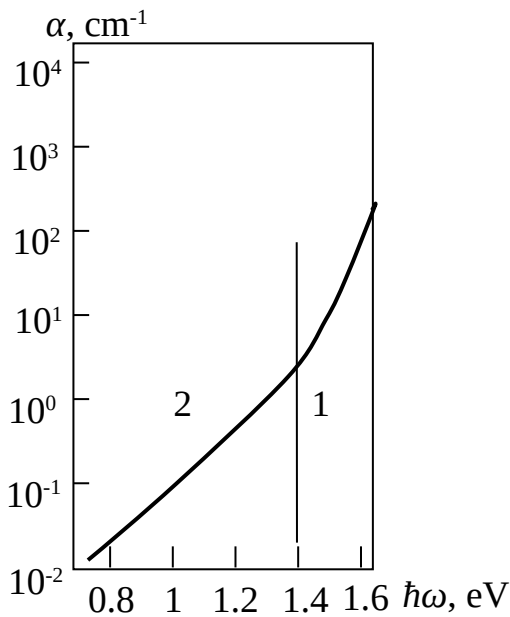


Рис. 3. Рассчитанные спектры 1 – экспоненциального поглощения и 2 – дефектного поглощения соответствующие переходам электрона от валентной зоны в дефект.

показаны на рисунке 4.

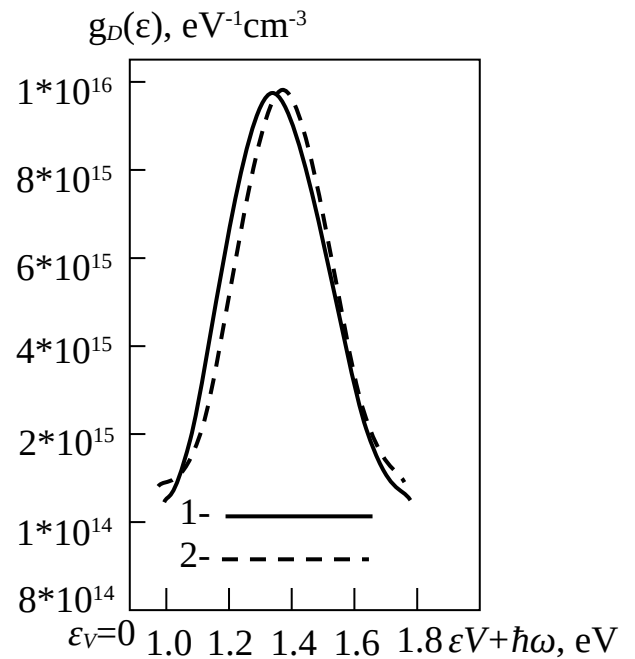


Рис. 4. Рассчитанные распределения плотности электронных состояний D^+ дефекта 1 - по формуле (19), 2 - по формуле (20).

заключение

Таким образом, в настоящей работе представлено, новый метод определения плотности электронных состояний в дефектах из спектра дефектного поглощения. Показано, что именно, для образца α -Si:H полученного в работе [10] при определении спектра дефектного поглощения основную роль играет, электронные переходы от валентной зоны в D^+ дефект.

Показано, что спектры, полученные экспериментальным путём и рассчитанные по формуле (11) соответствуют только, тогда, когда концентрация этого дефекта будет равным на $N_{D^+} = 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Показано, что если измерена экспериментальная кривая спектра оптического поглощения аморфного полупроводника, используя, этого спектра и формулы (19), (20) можно определит распределения плотности дефектных состояний.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. М.С. Аблова, Г.С. Куликов, С.К. Першеев. Метастабильные состояния нелегированного аморфного гидрогенизированного, создаваемые γ – облучением. ФТП, 2002, том 36, вып. 8, с.1001-1003.
2. M. Gunes and Ch. R. Wronski. Differences in densities of charged defect states and kinetics of Staebler – Wronski effect in undoped (nontrinsic) hydrogenated amorphous silicon thin films. AIP, V 81, N 8, pp. 3526-3536.
3. В. И. Фистуль. Введение в физику полупроводников. М.: Высш. шк., 1984. 352 с.
4. Зайнобидинов С., Икрамов Р.Г., Жалалов Р.М. // Журнал прикладной спектроскопии. 2011. Т. 78. № 2. с. 243.
5. Davis E.A., Mott N.F. Electronic Processes in Non Crystalline Materials. // Clarendon Press, Oxford, 1979.
6. G. D. Cody. Hydrogenated Amorphous Silicon. Optical Properties, 1984.V. 21
7. S. K. O’Leary, “On the relationship between the distribution of electronic states and the optical absorption spectrum in amorphous semiconductors,” Solid State Commun., 1999.V.109. P. 589–594.
8. Икрамов Р.Г. // Естественные и технические науки. 2007.
9. R.G.Ikramov, Kh.A. Muminov, M.A. Nuriddinova, B.Q. Sultonov, O.T. Kholmirezayev. Dangerous bonds individual of hydrogenated amorphous silicon and defect absorption spectra. East European Journal of Physics. **4**. 244-250 (2023)
10. F. Orapunt, S.K. O’ Leary. A quantitative characterization of the optical absorption spectrum associated with hydrogenated amorphous silicon. Mater Electron. (2009), V 20, pp. 1033-1038.
11. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М. Наука, Гл. Ред. Физ. Мат. Лит. 1986.С. 544.