СТАТИЧЕСКИЙ СДВИГ УРОВНЯ ФЕРМИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАХВАТА

А.А.Ботиржонов, М.А.Усманов, У.С.Бобохужаев

Наманганский государственный университет,Наманган,Узбекистан

Аннотация: В этой статье рассматривается статистический сдвиг уровня Ферми в зависимости от температур в *a-Si:H* и его влияния на фотоэлектрических параметров пленок *a-Si:H*. Кроме этого, показано, что этот сдвиг сильно зависит от исходных характеристик пленок *a-Si:H* и объяснено для пленок *i-a-Si:H* и слаболегированных бором *a-Si:H(B)* образцах за счет сдвига уровня Ферми наблюдается температурное гашения фотопроводимости.

Ключевые слова: Аморфной гидрогенизированный кремний, фотопроводимость, Гауссовском распределении, уровень Ферми, валентной зоны, фотоэлектрический проводимости.

Abstract: This article examines the statistical shift of the Fermi level depending on temperatures in a-Si: H and its effect on the photoelectric parameters of a-Si: H films. In addition, it was shown that this shift strongly depends on the initial characteristics of the a-Si: H films and was explained for the i-a-Si: H films and the samples weakly doped with boron a-Si: H (B) due to the shift of the Fermi level, the thermal quenching of photoconductivity is observed.

Keywords: Amorphous hydrogenated silicon, photoconductivity, Gaussian distribution, Fermi level. valence band, photoelectric conductivity.

Статистический сдвиг $\varepsilon_F(T)$ вызван перераспределением электронов по состояниям, плотность которых по шкале энергий непостоянна, особенно распределения плотности состояний подчиняется закону распределения Гаусса. Поэтому статический сдвиг $\varepsilon_F(T)$ очень чувствительным к параметрам плотности состояний и в свою очередь можно предполагать это сдвиг оказывает влияние на зависимость $\sigma_\Phi(T)$.

При росте температуре происходит термический активация электронов находившихся ниже уровня Ферми. Это происходит основной при температуре T > 250 K [1]. За счет этого присходит перезарядка D-центров в выде $D^0 - e \rightarrow D^+$. При этом уровень Ферми сдвигается к сторону ε_v.

Для количественного определения уровня Ферми при фиксированном температурах будем использовать уравнения электронейтральности

$$\int_{\varepsilon_v}^{\varepsilon_c} f(\varepsilon, \varepsilon_F, T) g(\varepsilon) d\varepsilon = const \tag{1}$$

Для решения этого уравнения будем продифференцировать (1) выражения по температуре. Здесь мы учтём что функция $g(\varepsilon)$ не зависит от температуры.

Чтобы упростит дифференцирования в вводим следующий обозначения $\beta = \frac{1}{kT}$ тогда мы получим следующие интегрально-дифференциальное уравнение

$$\frac{d\varepsilon_F}{dT} = k\frac{\int_{\varepsilon_v}^{\varepsilon_c} \beta^2 \frac{\partial t}{\partial \beta} g(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_{\varepsilon_v}^{\varepsilon_c} \beta^2 \frac{\partial t}{\partial \varepsilon_F} g(\varepsilon) d\varepsilon} \tag{2}$$

Этого уравнения можно решит приближенно пошаговым методом с помощью итеративной процедуры

$$\varepsilon_{F_i} = \varepsilon_{F_{i-1}} + \frac{d\varepsilon_F}{dT}\delta T \tag{3}$$

Расчет зависимостей $\varepsilon_F(T)$ проводился численными методами в интервале температур 10K < T < 400K для трехуровневый модели плотности состояний в виде аналитической функции

$$g(\varepsilon) = N_0 \exp\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_c}{\Delta_c}\right) + N_v \exp\left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_c}{\Delta_v}\right) + N_D \exp\left(-\frac{\varepsilon - \varepsilon_D}{2\sigma}\right) \tag{4}$$

где первое слагаемое представляет собой хвост зоны проводимости, второе – хвост валентного зоны, третий моделирует распределение D – центров в центре запрещенного зоны. Значения параметров модели для Δ_c и Δ_v согласно с экспериментальными сведениями принимает следующие значения $\Delta_c = 0{,}02 \div 0{,}04$ эВ, $\Delta_v = 0{,}03 \div 0{,}06$ эВ.

Плотность состояний в валентной зоны и зона проводимости является постоянной $N_c = N_v = 10^{21} эВ^{-1} см^{-3}$

Кроме этих значении в Гауссовском распределении участвуют два E_D и σ, E_D – положение вершин распределений Гаусса для D^0– центров. Для *a-Si:H* это величина определяется выражением [2].

$$E_D = \frac{E_g}{1{,}9\,eV} \cdot 1{,}27 \qquad (5)$$

А σ – энергическая ширина отклонения для распределений Гаусса, он тоже зависит от многих параметров, которые определяются из экспериментов и определяют с помощью следующего выражениям

$$\sigma = \left[E_{v_0}(T) \cdot (\Delta + U)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (6)$$

Здесь E_{v_0} - параметр урбах для валентного зоны, Δ - корреляционная энергия между центрами D и D^- , U-энергия связи электронов расположенных D – центрах. По литературным данным [2] они принимает следующие величины

$$E_{v_0} = 0{,}3 \div 0{,}4 \text{ эВ}, \Delta = 0{,}4 \div 0{,}45 \text{ эВ}, \quad U = 0{,}2 \div 0{,}3 \text{ эВ}$$

Как нам известно слои *a-Si:H* высокого качества имеет плотность состояний вблизи. Уровня Ферми не выше 10^{14}–10^{15}эВ$^{-1}$·см$^{-3}$ и они используются в качестве *a-Si:H* *p-i-n* структурных солнечных элементах.

Поэтому при анализе ВАХ фотопреобразователей или при моделирование солнечных элементов надо учесть статистический сдвиг уровня Ферми для *i-a-Si:H* слой. Для *p-a-Si:H* и *n-a-Si:H* статический сдвиг незначителен.

Литературы

1. Теруков Е.И., Казанский А.Г., Форш П.А., Хенкин М.В.//ФТП 2011 т.45, №4, с.518-511
2. Yu Kryuchenko, A.V.Savchenko and att.all//Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics, 2012 V.15. №2, P.91-116