



ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИИ ВЩЕЛИ ПОДВИЖНОСТИ a-Si:H .

*Тожибоев Сулаймон Жабборович¹,
Оббозов Дилшоджон Абдугаппорович¹,
Ботиржонов Акмалжон Аъзамжон угли²*

¹Академический лицей Наманганского государственного университета,

²Университет бизнеса и науки (UBS)

Аннотация: Ушбу мақолада a-Si:H асосидаги видикон нишонининг фото-ВАХ хусусиятлари ТОПЗ (тутқичлар билан чекланган заряд оқими) механизми доирасида назарий ва экспериментал жиҳатдан таҳлил қилинди. Фототок ва кучланиш орасидаги боғланиш ифодалари асосида турли ҳароратларда ўлчанган фотоВАХ натижалари ўрганилди. Таҳлил натижасида *i*-қатламдаги локал ҳолатлар ва тутқичлар тақсимооти, шунингдек, Ферми квазисатҳининг силжиши аниқланди. Ҳароратга боғлиқ ўзгаришлар асосида валент зона яқинида (~0,3–0,35 эВ) жойлашган ҳолатлар зичлиги максимуми мавжудлиги кўрсатилди. Олинган натижалар a-Si:H материалининг энергетик тузилишини чуқурроқ тушунишга ва фотоқабул қилгич қурилмаларини такомиллаштиришга хизмат қилади.

Калит сўзлар: a-Si:H, видикон нишони, фотоВАХ, ТОПЗ механизми, фототок, яримўтказгич, локал ҳолатлар, заряд тутқичлар, фотосезгир қатлам, ҳароратга боғлиқлик.

Аннотация: В данной статье теоретически и экспериментально исследованы фото-вольт-амперные характеристики мишени видикона на основе a-Si:H в рамках механизма ТОПЗ (ток, ограниченный пространственным зарядом). На основе соотношений между фототоком и



напряжением изучены экспериментальные фотоВАХ, измеренные при различных температурах. В результате анализа установлены распределение локальных состояний и ловушек в *i*-слое, а также смещение квазиуровня Ферми. Показано наличие максимума плотности состояний вблизи валентной зоны ($\sim 0,3-0,35$ эВ) на основе температурной зависимости. Полученные результаты способствуют более глубокому пониманию энергетической структуры *a*-Si:H и совершенствованию фотоприемных устройств.

Ключевые слова: *a*-Si:H, мишень видикона, фотоВАХ, механизм ТОПЗ, фототок, полупроводник, локальные состояния, ловушки заряда, фоточувствительный слой, температурная зависимость.

Abstract: In this article, the photo current–voltage characteristics of a vidicon target based on *a*-Si:H are theoretically and experimentally investigated within the framework of the SCLC (space-charge-limited current) mechanism. Based on the relationship between photocurrent and voltage, experimental photo *I–V* characteristics measured at different temperatures were analyzed. The study reveals the distribution of localized states and traps in the *i*-layer, as well as the shift of the quasi-Fermi level. A maximum in the density of states near the valence band ($\sim 0.3-0.35$ eV) is identified based on temperature dependence. The obtained results contribute to a deeper understanding of the electronic structure of *a*-Si:H and the improvement of photodetector devices.

Keywords: *a*-Si:H, vidicon target, photo *I–V* characteristics, SCLC mechanism, photocurrent, semiconductor, localized states, charge traps, photosensitive layer, temperature dependence.

Рассмотрим структуру мишени видикона на основе *a*-Si:H. В [4] было показано, что при выполнении ряда условий фотоВАХ мишени видикона определяются механизмом ТОПЗ, при котором фототок и напряжение связаны



соотношением $I_{pn}=U_m$ ($m \geq 2$). Этими условиям являются: малость темнового тока по сравнению с фототоком, выполнение неравенства $\alpha d \gg 1$ (α -коэффициент поглощения d -толщина образца), выполнение неравенство $\mu\tau E \ll d$ (μ, τ -подвижность и время жизни носителей заряда, E -электрический). Тогда при освещении образца коротковолновым светом поглощения происходит при поверхностном i -слое и при приложении к слою ИТО положительного потенциала можно наблюдать фототок в режиме ТОПЗ. Дырки инжектируемые в i -слой, захватываются на локализованных состояниях в щели подвижности, создавая объемный заряд. В стационарном режиме устанавливается квазиравновесно распределение дырок по энергиям с некоторым квазиуровнем Ферми E_F . При увеличении падающего потенциала на i -слой число захваченных дырок возрастает и E_F сдвигается по направлению к валентной зоне. Пренебрежем изменением положения квазиуровня Ферми по толщине i -слоя из-за неоднородного освещения. При освещении светом с длиной волны $\lambda=444$ нм и плотности потока фотонов $\Phi=10^{14}$ см⁻² с⁻¹ темновой ток на порядке ниже, чем фототок. Таким образом ТОПЗ были обусловлены неравновесными носителями, создаваемыми светом на приповерхностном слое a -Si:H. Именно эти неравновесные носители обеспечивают изменения квазиуровня Ферми.

Пусть при изменении падения на i -слое V_1 до V_2 – величина фототока изменяется от J_1 до J_2 тогда смещения квазиуровня

Ферми равно

$$\delta E_F = kT \ln \frac{J_2 V_1}{J_1 V_2} \quad (1)$$

где k -постоянная Больцмана. T - температура.

При этом изменения концентрации захваченных дырок.



$$\delta N_t = \int_{E_v}^{E_f} g(E) \{ f(E_F + \delta E_F, E) - f(E_F, E) \} dE \quad (2)$$

где E_v -край подвижности в валентной зоне. $f(E)$ -фермиевская функция распределения.

Как известно [5] вблизи E_F $g(E)$ изменяется плавно по сравнению с $f(E)$, а в примикающей части хвосты валентной зоне существует особенность, в $g(E)$, резкая по сравнению с $\exp(E/kT)$. Запишем $g(E)$ в виде суммы $g(E) = g_0(E) + g_1(E)$, где $g_0(E)$ -плавная функция, а $g_1(E)$ описывает особенность. Подставляя в (2) $\int g_0(E) f(E) dE$ в виде ряда [6], находим.

$$\delta N_t = \left\{ g(E_F) + \frac{\pi^2}{6} (kT) g''(E_F) + \frac{7\pi^4}{360} (kT)^4 g''''(E_F) + G \exp \frac{E_F - E_t}{kT} \right\} \delta E_T \quad (3)$$

где E_c - энергетическое положение захватывающих дырок.

Второй и третий члены в (3) учитывают захват дырок на состояния вблизи E_F , а последний член-захват на особенность в $g(E)$ который существенно ниже E_F . Вид коэффициента G зависит от характера особенности, потому что $G = N_t/kT$, где N_t - число состояний в пике на единицу объема. С другой стороны,

$$\delta N_t = \frac{k \cdot \varepsilon \cdot \Delta V}{4\pi d^2} \quad (4)$$

где константа $1 < k < 2$, и она зависит от типа контакта и качества i - слоя. ε - диэлектрическая проницаемость $\Delta V = |V_1 - V_2|$ -толщина i -слоя, e -величина

заряда электрона. Из-за малости темнового тока в (4) пренебрегается объемным зарядом носителей в делокализованных состояниях. С помощью

(1), (4) по измеренной фотоВАХ можно рассчитать величину $\delta N_t / \delta E_F$ в некотором интервале энергий, в котором смешается квазиуровень Ферми. В работах [1,2] плотность локализованных состояний $g(E)$ в a -Si:H



определялась на основании формул (1)-(4) без членов, зависящих от T в (3).

При этом полагалось $\frac{\delta N_t}{\delta E_F} = g(E_F^*)$ а начальное положение E_F определяется из

$$\text{следующего выражения} \quad j = e\mu_v \frac{v}{d} N_v \exp\left(-\frac{E_F^*}{kT}\right) \quad (5)$$

Как следует [3], величине $g_1(E)$ расположен в области вблизи $0,6$ эВ от E_v . По этому пренебрежем первый, второй и далее члены в (3). Тогда мы

$$\text{получим} \quad \frac{\delta N_t}{\delta E_F} = G \exp \frac{E_t - E}{kT} \quad (6) \quad \text{как видно величина} \quad \frac{\delta N_t}{\delta E_F} \quad \text{зависит}$$

от температуры. В настоящей работе мы рассмотрим температурную зависимость величины $\frac{\delta N_t}{\delta E_F}$. При малой шаге будем полагать $\frac{\delta N_t}{\delta E_F} = g(E_F^*)$ как

в работе [5]. Воспользуемся результатами измерений фотоВАХ мишени видикона на основе $a\text{-Si:H}$. Структуры получены в тлеющем разряде [4].

Измерения проведены при различных температурах в интервале 220-310 К (рис.1).

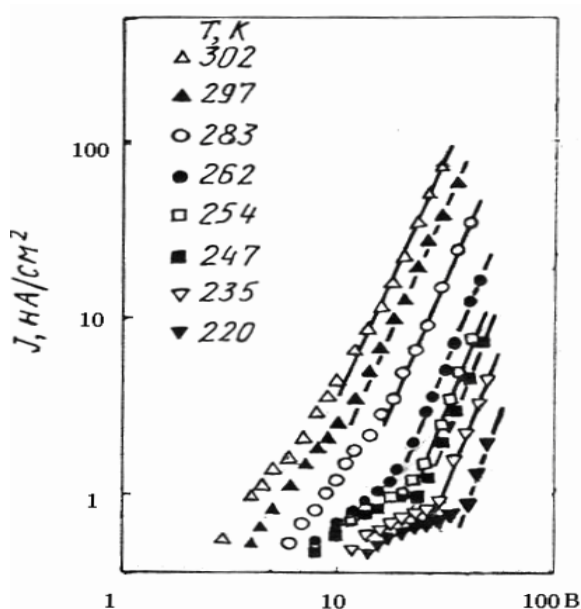


Рис.1 ФотоВАХ мишени снятая при восьми различных

температурах. $\Phi = 1,4 \cdot 10^{12} \frac{\text{фотон}}{\text{с} \cdot \text{см}^2}$



Положение равновесного уровня Ферми E_F определялось по энергии активации темновой проводимости. Для рассматриваемого образца $\Delta E=0,9$ эВ [4], означает E_F расположен на середине щели подвижности, так как ширина щели подвижности равно 1,8-1,9 эВ. А значения E_F^* , вычисленный из (5) заметно меньше чем E_F . Это подтверждает наши предположения. На рис.2 представлена зависимость $g(E_F^*)$ от $1/T$. Если предэкспоненциальный множитель G слабо зависит от T по сравнению с экспонентой, тогда находим по наклону прямой энергии активации $E_F^* - E_F$ а по пересечению с осью ординат $1/T=0$, множитель G .

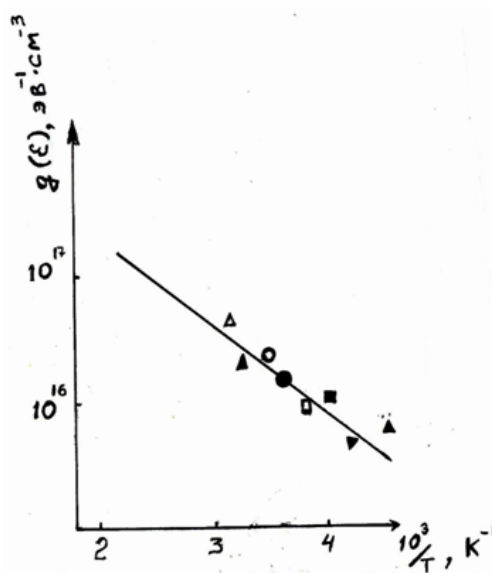


Рис.2 Зависимость $g(E)$ от обратной температуры.

Таким образом, на основании анализ фотоВАХ в режиме ТОПЗ, измеренных при различных температурах, показано наличие в a-Si:H особенности в плотности состояний, то есть пик плотности состояний, находящейся выше валентной зоны на 0,3-0,35 эВ. Особенность представляет собой резкий рост плотности состояний до величины $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ эВ}^{-1}$. Это подтверждает полученные ранее данные о рентгеновских эмиссионных спектрах a-Si:H, качественно отражающих ход $g(E)$ в рассматриваемой части E_g .



Литература

1. О.А. Голикова, Р.Г.Икрамов, М.М. Казанин ФТП 26 , 71 (1992).
2. О.А. Голикова, Р.Г.Икрамов, М.М. Казанин, М.М.Мездрогина ФТП 27 , 465 (1993).
3. О.А. Голикова, У.С. Бобоходжаев, М.М. Казанин, М.М.Мездрогина ФТП 25 , 102 (1991).
4. Аморфные полупроводники и приборы на их основе. Й. Хамакава (Москва, 1986). с. 141.
5. Е.В. Греков, О.Г. Сухоруков ФТП 22 , 735 (1988)