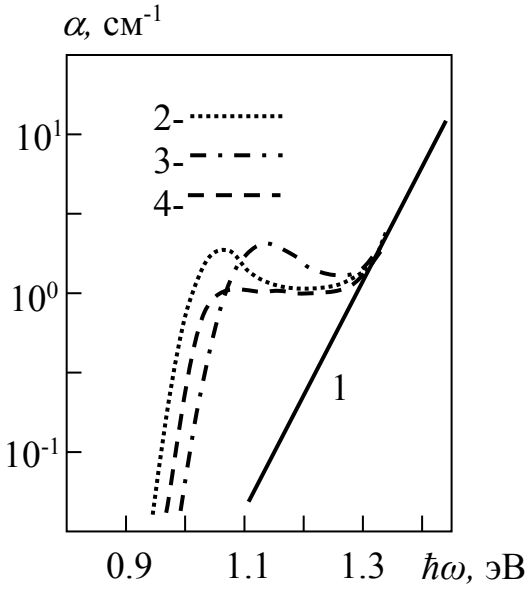
АМОРФ ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАРДА ЭЛЕКТРОНЛАРНИНГ НУҚСОНЛАР ВА РУХСАТ ЭТИЛГАН СОҲАЛАРДАГИ ЭЛЕКТРОН ҲОЛАТЛАР ИШТИРОК ЭТУВЧИ ОПТИК ЎТИШЛАР СПЕКТРЛАРИ

С.ЗАЙНОБИДИНОВ, Р.Ғ.ИКРАМОВ, Р.М.ЖАЛАЛОВ, А.А.ЁҚУББАЕВ

В статье обсуждены спектры оптических переходов электронов при участии электронных состояний на дефектах и разрешенных зонах в аморфных полупроводниках.

This article is about the spectra of optical transfer of electrons participating in electronic state on the defects and allowed areas in amorphous semiconductors.

Псевдолегирланган аморф гидрогенизацияланган кремний (a-Si:H) пардаларида фотонларнинг нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикаси учун тажрибалардан аниқланган натижалар 1-расмда келтирилган [1]. Бу натижаларни тушунтириш учун нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасидаги нуқсонларда ютилиш соҳасини Кубо-Гринвуд формуласидан Дэвис-Мотт яқинлашиш усулига [2] кўра икки хил усулда ҳисобланган. Биринчи усулда катта энергияли фотонлар ютилганда фақат нуқсонлар ва рухсат этилган зоналардаги ҳолатлар орасида оптик ўтишларнинг спектрлари ҳисобланган. Иккинчи усулда эса бундай фотонлар электронларни бир вақтда нуқсонлар ва рухсат этилган зоналар ҳамда уларнинг думларидаги ҳолатларга олади деб ҳисобланган. Ҳисоблашларни бажаришда нуқсонлардаги электрон ҳолатлар зичлигини Гаусс тақсимотига ўхшаш бўлган гиперболиксеканс [3], рухсат этилган зоналарнинг чегараларидаги электрон ҳолатлари зичлиги тақсимотини ўзгармас, параболик ва чизиқли ёки гиперболиксеканс, рухсат этилган зоналарнинг думларидаги электрон ҳолатлари тақсимоти эса экспоненциал кўринишларда танланган [4,5].



1-расм. Псевдолегирланган аморф гидрогенизацияланган кремний пардаларида ютилиш коэффициентининг 1-экспоненциал ва 2-, 3- 4- нуқсонларда ютилиш соҳалари спектрлари.

Нуқсонларда ютилиш коэффициентининг спектрал характеристикаларини бу икки усулда ҳисобланганда олинадиган натижа бир хил бўлиши кўрсатилган.

Маълумки, оптик ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасининг нуқсонларда ютилиш соҳаси Кубо-Гринвуд формуласидан Дэвис-Мотт яқинлашиш усулига кўра [2] қуйидагича аниқланади:

$$\alpha(\hbar\omega) \sim \int_{\varepsilon_0-\hbar\omega}^{\varepsilon_0} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}. \quad (1)$$

Бу ерда ε_0 – фотонларни ютиши мумкин бўлган электронларнинг максимал энергетик ҳолати, $g(\varepsilon)$- ва $g(\varepsilon+\hbar\omega)$ – оптик ўтишларда иштирок этувчи электронлар бошланғич ва охирги ҳолатларининг зичлиги.

Бу ишнинг ҳажмини камайтириш учун биз фақат электронларнинг нуқсонлардан ўтказувчанлик зонасига ўтишларни қараб чиқамиз. Валент зонадан нуқсонлардаги ҳолатларга оптик ўтишларнинг спектрлари ҳам худди шу усулларда ҳисобланади.

Маълумки, ютилган фотонлар энергияси учун $\varepsilon_C-\varepsilon_{02}>\hbar\omega$ шарт бажарилганда, электронлар нуқсонлардан ўтказувчанлик зонаси думига ўтади (2-расм). Шунинг учун Кубо-Гринвуд формуласи юқоридаги иккала усул учун ҳам:

$$\alpha(\hbar\omega) \sim \int_{\varepsilon_{02}-\hbar\omega}^{\varepsilon_{02}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (2)$$

кўринишда ёзилади. Бу ердаги интегралнинг чегарасидаги ε_{02} – ўтказувчанлик зонаси думи билан нуқсонлардаги электрон ҳолатлари зичлиги тақсимотларини кесишиш нуқтасининг энергетик ўрнидан аниқланади.

Агар ютилган фотонларнинг энергияси $\varepsilon_C-\varepsilon_{02}<\hbar\omega$ шартга бўйсунса, ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасини икки хил усулда ҳисоблаш мумкин.

1-усул. Бундай фотонлар ютилганда, электронлар нуқсонлардан ўтказувчанлик зонасига ўтади (2-расмдаги 4-ўтиш). Шунинг учун Кубо-Гринвуд формуласи қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\alpha(\hbar\omega) \sim \int_{\varepsilon_C-\hbar\omega}^{\varepsilon_C} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}. \quad (3)$$

Рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар тақсимотининг даражаси ўзгармас, чизиқли бўлганда (3) дан аналитик ечимлар олинади. Параболик зоналар учун эса спектрни тақрибий ҳисоблаш усуллари ёрдамида олинади.

2-усул. ε_C-ε_{02}<$\hbar\omega$ энергияли фотонлар ютилганда, электронларнинг нуқсонлар ва рухсат этилган зоналар орасидан оптик ўтишлари билан бир вақтнинг ўзида нуқсон ва рухсат этилган зоналарнинг думлари орасидан оптик ўтишлар ҳам содир бўлади. Бундай ҳолларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикаларини ҳисоблашда Кубо-Гринвуд формуласини бу ўтишларга мослаб иккита компонентга ажратиб олиш кераклиги [6] ишда кўрсатилган. Шуни ҳисобга олиб (1) ифодани электронларнинг нуқсонлардаги ҳолатлардан ўтказувчанлик зонаси ва унинг думидаги ҳолатларга оптик ўтишлари учун ютилиш коэффициенти спектрларини ҳисоблашда:

$$\alpha \sim \int_{\varepsilon_{02}-\hbar\omega}^{\varepsilon_{02}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \int_{\varepsilon_C-\hbar\omega}^{\varepsilon_{02}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} + \int_{\varepsilon_{02}-\hbar\omega}^{\varepsilon_{C-\hbar\omega}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} =$$

(4) кўринишда ёзамиз. Бу ердаги α_1-

$$= \alpha_1 + \alpha_2$$

нуқсонлардан ўтказувчанлик зонасига, α_2- эса нуқсонлардан ўтказуванлик зонаси думига электрон ўтишларини аниқлайди.

Ҳисоблашларни юқоридаги усуллардан фойдаланиб бажарамиз. Нуқсонлардан ўтказуванлик зонаси думига электронларни оптик ўтишларининг спектрларини аниқлаймиз

$$\alpha_2 = \frac{A}{b\hbar\omega}\exp(b(\varepsilon_D - \varepsilon_C + \hbar\omega))\left[2b(\varepsilon_C - \varepsilon_{02}) - \ln\left[\frac{1+\exp(-2b(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega))}{1+\exp(-2b(\varepsilon_{02} - \varepsilon_D - \hbar\omega))}\right]\right] \quad (5)$$

Нуқсонлардан ўтказуванлик зонасига электронлар оптик ўтишларининг спектрлари учун n_2=0 да

$$\alpha_1 = \frac{2A}{b\hbar\omega}arctg\left(\frac{\exp(b(\varepsilon_{02} - \varepsilon_D)) - \exp(b(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega))}{1+\exp(b(\varepsilon_{02} + \varepsilon_C - 2\varepsilon_D - \hbar\omega))}\right), \quad (6)$$

n_2=1/2 да

$$\alpha_1 = \frac{2A}{\hbar\omega}\int_{\varepsilon_C-\hbar\omega}^{\varepsilon_{02}} \frac{1}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D))}\sqrt{\frac{\varepsilon - \varepsilon_V + \hbar\omega}{E_g}}d\varepsilon, \quad (7)$$

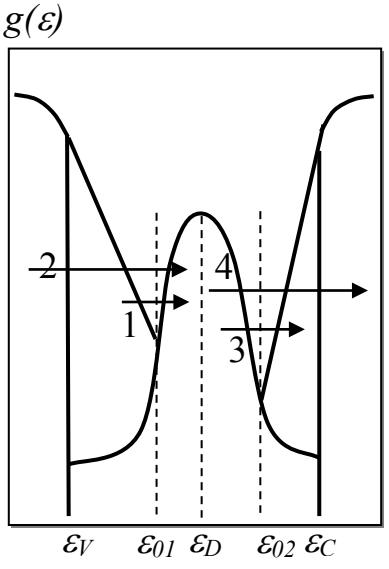
n_2=1 да эса

$$\alpha_1 = \frac{2A}{E_g\hbar\omega}\left[\frac{\varepsilon_D - \varepsilon_V + \hbar\omega}{b}arctg\left(\frac{\exp(b(\varepsilon_{02} - \varepsilon_D)) - \exp(b(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega))}{1+\exp(b(\varepsilon_{02} + \varepsilon_C - 2\varepsilon_D - \hbar\omega))}\right) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{4a}(\exp(-a(\varepsilon_{02} - \varepsilon_D)^2) - \exp(-a(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega)^2))\right] \quad (8)$$

ифодаларни оламиз.

2-расмда юқоридаги (2), (3) ва (4) формулалардан электронларнинг нуқсондан ўтказувчанлик зонасига оптик ўтишлари билан аниқланувчи ютилиш коэффициенти спектрлари келтирилган. Расмдан кўринадики, юқорида келтирилган иккала усулда олинган формулалардан ҳисобланган умумий ютилиш коэффициенти спектрал характеристикалари бир-биридан деярли фарқ қилмас экан.



2-расм. Аморф яримўтказгичларда нуқсон-лар ва рухсат этилган зоналар ҳамда бу зоналарнинг думларидаги электрон ҳолат-лари иштирок этучи электронларнинг оп-тик ўтиш турлари: 1-валент зона думидан нуқсонлардаги ҳолатларга, 2-валент зонадан нуқсонлардаги ҳолатларга, 3- нуқсонлардаги ўтказувчанлик зонаси думига, 4- нуқсонлар-даги ҳолатлардан ўтказувчанлик зонасига.

АДАБИЁТЛАР:

1. Икрамов Р.Г., Рахимов Н., Кучкаров Х.О. Исследование дефектных состояний в псевдолегированном a-Si:H методом постоянного фототока // УФЖ .- 1994.- № 5.- С. 30-33

2. Н.Мотт, Э.Дэвис, Электронные процессы в некристаллических веществах. Т 1.- М.: Мир, 1982

3. А.А.Андреев, М.С.Шлимак, В книге: Фотоприемники и фотопреобразователи // Сборник научных трудов АН СССР ФТИ им. А.Ф.Иоффе .- Ленинград, Наука, 1986.- С.222

4. Р.Г. Икрамов. Естественные и технические науки. -2007, С.58.

5. Зайнобидинов С., Икрамов Р.Ғ., Нуритдинова М.А. Спектры межзонного поглощения аморфного гидрогенизированного кремния. // Доклады АН РУз..- 2008.- № 4.- С.33-36

6. Икрамов Р.Ғ. Механизмы оптических электронных переходов в аморфных полупроводниках. // Аспирант, докторант ва тадқиқотчиларнинг республика илмий-амалий анжумани маърузалари тўплами. 2-қисм.- Т., 2007.- Б.3-5

Андижон давлат университети,
Наманган давлат университети.
2010 йил 20 июнда қабул қилинган