

12-30-2019

## SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE ABSORPTION COEFFICIENT AND ENERGY POSITION OF DEFECTS

Sirojiddin Z. Zaynobidinov

*Andijan State University, Andijan, 170100, str. University, 129 (Uzbekistan). E-mail: agsu\_info@edu.uz*

Rustamjon G. Ikramov

*Namangan Engineering-Technological Institute, Namangan, 160115, str. Kasansay, 7 (Uzbekistan)/ E-mail: niei\_info@edu.uz*

Mashhurahon A. Nuriddinova

*Namangan State University, Namangan, 160136, str. Uychi, 316 (Uzbekistan). E-mail: info@namdu.uz*

Khurshid A. Muminov

*Namangan Engineering-Technological Institute, Namangan, 160115, str. Kasansay, 7 (Uzbekistan)/ E-mail: niei\_info@edu.uz*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/adu>

 Part of the [Physics Commons](#)

---

### Recommended Citation

Zaynobidinov, Sirojiddin Z.; Ikramov, Rustamjon G.; Nuriddinova, Mashhurahon A.; and Muminov, Khurshid A. (2019) "SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE ABSORPTION COEFFICIENT AND ENERGY POSITION OF DEFECTS," *Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research*: Vol. 1 : No. 2 , Article 1.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/adu/vol1/iss2/1>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

## ЮТИЛИШ КОЭФФИЦИЕНТИ СПЕКТРАЛ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ ВА НУҚСОНЛАРНИНГ ЭНЕРГЕТИК ЎРНИ

С. Зайнобидинов, Р.Ғ. Икромов, М.А. Нуриддинова, Х.А. Муминов, Р.М.Жалалов

Мақолада Дэвис-Мотт яқинлашиш усулига кўра Кубо-Гринвуд формуласидан аморф гидрогенизацияланган кремнийнинг нуқсонларда ютилиш соҳаси назарий усулда тадқиқ қилинган. Бу соҳа учун оптик ютилиш коэффициенти спектрлари келтириб чиқарилган. Нуқсонларда оптик ютилиш коэффициенти спектрларининг қийматлари ва кўринишини, асосан, рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлари зичлигининг тақсимоти аниқлаши кўрсатиб берилган. Нуқсонларда ютилиш спектрлари нуқсоннинг энергетик ҳолати билан белгиладиган нуқтада максимумга эга бўлиши аниқланган. Тажрибаларда аниқланган нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрларидан фойдаланиб нуқсонларнинг энергетик ўрнини белгилаш мумкин эканлиги асосланган.

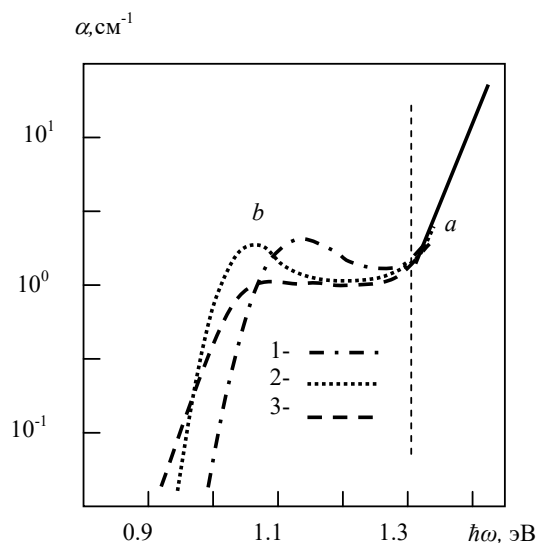
**Калим сўзлар:** Аморф гидрогенизацияланган кремний, нуқсонлардаги электрон ҳолатлари зичлигининг тақсимоти, рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар зичлигининг тақсимоти, Кубо-Гринвуд формуласи, Дэвис-Мотт яқинлашиш усули, нуқсон ва рухсат этилган зоналараро оптик ўтишлар, нуқсонларда ютилиш спектрлари, нуқсонларнинг энергетик ўрни.

В настоящей работе теоретическим путем, по формуле Кубо-Гринвуда, используя метод приближения Дэвиса-Мотта, исследована область дефектного поглощения аморфного гидрогенизированного кремния. Получены аналитические выражения для этих спектров. Показано, что вид и значения спектров коэффициента оптического поглощения определяются распределением плотности электронных состояний в размещенных зонах. Показано, что спектры дефектного поглощения имеют максимумы, где расположены энергетические положения дефектов. Определено, что из экспериментальных данных, полученных для спектров дефектного поглощения можно определить энергетическое положение дефектов.

**Ключевые слова:** аморфный гидрогенизированный кремний, распределение плотности электронных состояний дефектов, распределение плотности электронных состояний в разрешенных зонах, формула Кубо-Гринвуда, приближения Дэвиса-Мотта, оптические переходы между дефектами и разрешенными зонами, спектры дефектного поглощения, энергетического положения дефектов.

**Кириш.** Псевдолегирланган аморф гидрогенизацияланган кремний ( $a\text{-Si:H}$ ) пардаларида фотонларнинг нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикаси учун тажрибаларда аниқланган натижалар 1-расмда келтирилган.

**1-расм.** Псевдолегирланган намуналари учун тажрибалардан аниқланган нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикалари (b), экспоненциал ютилиш соҳаси (a),  $E_g=1,8$  эВ.



## ФИЗИКА

Маълумки, нуқсонлардаги ҳолатлар иштирок этувчи электронларнинг оптик ўтиш турлари уч хил бўлади: нуқсонлараро, нуқсон ва рухсат этилган зоналарнинг думлариаро ҳамда нуқсон ва рухсат этилган зоналараро. Улар ичида асосий ролни нуқсонлар ва рухсат этилган зоналар орасидаги электрон ўтишлари билан аниқланадиган ютилиш коэффициенти қийматлари ўйнайди. Бундан ютилиш коэффициенти спектрал характеристикаларининг кўриниши нуқсонларнинг энергетик ўрни, нуқсонлардаги ва рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлари зичлигининг тақсимотларига боғлиқ бўлиши келиб чиқади. Аморф ярим ўтказгичлар оптик ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасининг нуқсонларда ютилиш соҳасини Кубо-Гринвуд формуласидан Дэвис-Мотт яқинлашиш усулига кўра [1.Б.127] 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  $\varepsilon_0$  – фотонларни ютиши мумкин бўлган электронларнинг максимал энергетик ҳолати;  $g(\varepsilon)$  – ва  $g(\varepsilon + \hbar\omega)$  – оптик ўтишларда иштирок этувчи электронлар бошланғич ва охири ҳолатлари зичлигининг тақсимотлари.

Аморф яримўтказгичларда оптик ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасини ҳисоблашда нуқсонлардаги электрон ҳолатлар зичлиги Гаусс тақсимоти билан, рухсат этилган зоналарнинг чегараларидаги электрон ҳолатлар зичлигининг тақсимоти эса даражали ёки Гаусс тақсимоти кўринишида танланиши мумкинлиги [2. Б. 205, 3. Б. 814] ишларда кўрсатилган.

Нуқсонлардаги электрон ҳолатлар зичлигининг энергияга боғланиши Гаусс тақсимоти кўринишида қуйидагича ёзилади:

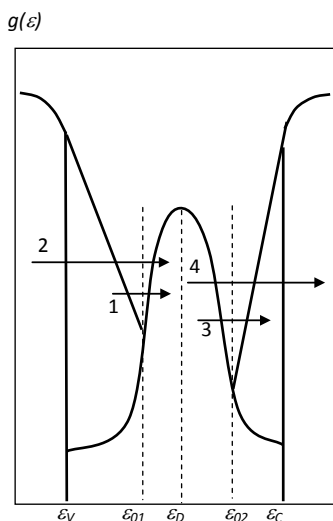
$$g(\varepsilon) = g(\varepsilon_D) \exp\left(-a(\varepsilon - \varepsilon_D)^2\right). \quad (2)$$

Бу ерда  $g(\varepsilon_D)$  – ва  $\varepsilon_D$  – мос равишда нуқсонлардаги электрон ҳолатлар зичлиги тақсимотининг максимал қиймати ва бу максимумнинг энергетик ўрни;  $a$  – Гаусс тақсимотининг эффектив ярим кенглигини аниқловчи параметр.

Маълумки, Гаусс тақсимотини интеграллаб аналитик ечимларни олиш мумкин эмас. Шунинг учун ҳисобга олиб, [4. Б. 60] ишда ўзгариш ва аниқланиш соҳалари Гаусс тақсимотидан деярли фарқ қилмайдиган интегралланувчи гиперболиксеканс

$$g(\varepsilon) = \frac{g(\varepsilon_D)}{ch(b(\varepsilon - \varepsilon_D))} = \frac{2g(\varepsilon_D)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D))} \quad (3)$$

кўринишидаги функцияни гидрогенизацияланган аморф яримўтказгичларнинг ҳаракатчанлик тиркишида жойлашган нуқсонлардаги электрон ҳолатлар тақсимоти учун ишлатиш мумкин эканлиги кўрсатилган. Бу ерда  $b$  – гиперболиксеканс кўринишидаги тақсимотнинг эффектив ярим кенглигини аниқловчи параметр. (2) ва (3) ифодалардаги  $a$  ва  $b$  параметрлар орасидаги боғланиш шартини  $a=b^2/\pi$  кўринишида танлаш кераклиги [4. Б. 61] ишда кўрсатилган. Чунки бу боғланиш гиперболиксеканс ва Гаусс тақсимоти билан аниқланадиган нуқсонларнинг концентрациялари тенг бўлишини ифодалайди.



**2-расм.** Аморф яримўтказгичларда нуқсонлар ва рухсат этилган зоналар ҳамда бу зоналарнинг думларидаги электрон ҳолатлар иштирок этувчи электронларнинг оптик ўтиш турлари: 1-валент зона думидан нуқсонлардаги ҳолатларга, 2-валент зонадан нуқсонлардаги ҳолатларга, 3-нуқсонлардаги ҳолатлардан ўтказувчанлик зонаси думига, 4-нуқсонлардаги ҳолатлардан ўтказувчанлик зонасига.

[3. Б. 816, 5. Б. 174] ишда валент ва ўтказувчанлик зоналаридаги электрон ҳолатлар тақсимотлари даражали бўлганда, уларни мос равишда қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин эканлиги кўрсатилган:

$$g(\varepsilon) = N(\varepsilon_V) \left( \frac{\varepsilon_C - \varepsilon}{E_g} \right)^{n_1}, \text{ бу ерда } \varepsilon \leq \varepsilon_V \quad (4)$$

$$g(\varepsilon) = N(\varepsilon_C) \left( \frac{\varepsilon - \varepsilon_V}{E_g} \right)^{n_2}, \text{ бу ерда } \varepsilon_C \leq \varepsilon \quad (5)$$

Бу ерда  $N(\varepsilon_V)$  – валент ва  $N(\varepsilon_C)$  – ўтказувчанлик зоналаридаги электрон ҳолатлар зичлигининг эффектив қийматлари;  $\varepsilon_V$  – валент зонанинг юқори ва  $\varepsilon_C$  – ўтказувчанлик зонасининг қуйи чегараси.  $E_g$  – ҳаракатчанлик тирқиши (тақиқ зона)нинг энергетик кенглиги. Рухсат этилган зоналарнинг чегараларидаги электрон ҳолатлар зичлигининг энергияга боғланиши параболик ёки чизиқли бўлишини ҳисобга олсак [1. Б. 185, 6. Б. 225],  $n_1$  ва  $n_2$  лар  $\frac{1}{2}$  ва 1 га тенг бўлади.

Рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар Гаусс тақсимотига бўйсунганда, валент зона учун

$$g(\varepsilon) = N(\varepsilon_V) \exp\left(-a(\varepsilon - \varepsilon_V)^2\right), \quad (6)$$

ўтказувчанлик зонаси учун эса

$$g(\varepsilon) = N(\varepsilon_C) \exp\left(-a(\varepsilon - \varepsilon_C)^2\right), \quad (7)$$

ифодаларни ёзиш мумкин.

Нуқсонларда ютилиш спектрлари учун аналитик ечимларни олиш мақсадида бу тақсимотларни гиперболиксеканс кўринишида, валент зона учун

$$g(\varepsilon) = \frac{2N(\varepsilon_V)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_V)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_V))}, \quad (8)$$

ўтказувчанлик зонаси учун эса

$$g(\varepsilon) = \frac{2N(\varepsilon_C)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_C)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_C))} \quad (9)$$

ифодаларни ёзамиз.

Ҳисоблашлар. Нуқсонлар ва рухсат этилган зоналар орасида электронларнинг оптик ўтишлари ҳосил бўлиши учун ютилган фотонларнинг энергияси  $\varepsilon_{01} - \varepsilon_V < \hbar\omega$  ва  $\varepsilon_C - \varepsilon_{02} < \hbar\omega$  шартларга бўйсунуши керак. Бу ҳолда нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасини икки хил усулда ҳисоблаш мумкин.

1-усул. Бундай фотонлар ютилганда, электронлар мос равишда валент зонадан нуқсонларга ва нуқсонлардан ўтказувчанлик зонасига ўтади (2-расмдаги 2- ва 4-ўтишлар). Шунинг учун Кубо-Гринвуд формуласи қуйидаги кўринишларда ёзилади:

$$\alpha(\hbar\omega) \sim \int_{\varepsilon_V - \hbar\omega}^{\varepsilon_V} g(\varepsilon) g(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (10)$$

$$\alpha(\hbar\omega) \sim \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_C} g(\varepsilon) g(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}. \quad (11)$$

Рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар зичлигининг тақсимоти параболик бўлган ҳоли учун ( $n_1 = n_2 = 1/2$ ) нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрларини қуйидаги кўринишларда ёзамиз:

$$\alpha(\hbar\omega) = B \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_C} \frac{2g(\varepsilon_D)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D))} N(\varepsilon_C) \sqrt{\frac{\varepsilon - \varepsilon_V + \hbar\omega}{E_g}} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} \quad (12)$$

$$\alpha(\hbar\omega) = B \int_{\varepsilon_V - \hbar\omega}^{\varepsilon_V} N(\varepsilon_V) \sqrt{\frac{\varepsilon_C - \varepsilon}{E_g}} \frac{2g(\varepsilon_D)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega))} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}. \quad (13)$$

## ФИЗИКА

Маълумки, бу интеграллар аналитик ечимга эга бўлмайди. Шунинг учун уларнинг ечимлари тақрибий ҳисоблаш усулларидан фойдаланиб аниқланади. Бу ҳисоблаш натижалари 3-а расмда келтирилган.

Энди рухсат этилган зоналардаги локаллашмаган электрон ҳолатлари зичликларининг тақсимоти чизиқли ( $n_1=n_2=1$ ) бўлган ҳолларни қараймиз ва Кубо-формуларини қуйидагича ёзамиз.

$$\alpha(\hbar\omega) = B \int_{\varepsilon_V - \hbar\omega}^{\varepsilon_V} N(\varepsilon_V) \frac{\varepsilon_V - \varepsilon}{E_g} \frac{2g(\varepsilon_D)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega))} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (14)$$

$$\alpha(\hbar\omega) = B \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_C} \frac{2g(\varepsilon_D)}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D))} N(\varepsilon_C) \frac{\varepsilon - \varepsilon_V + \hbar\omega}{E_g} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}. \quad (15)$$

Бу интегралларнинг аналитик ечимини топиш учун уларни иккига ажратиб, биттаси учун гиперболиксеканс, иккинчиси учун эса Гаусс тақсимотини ёзиш керак бўлади, акс холда аналитик ечимни олиш мумкин эмас. Бундай алмаштириш амалга оширилганда йўл қўйиладиган хатолик тажрибаларнинг хатолигидан катта бўлмаслиги [4] ишда кўрсатиб ўтилган.

$$\alpha(\hbar\omega) = \frac{A}{E_g \hbar\omega} \left[ \int_{\varepsilon_V - \hbar\omega}^{\varepsilon_V} \varepsilon_C \frac{1}{ch(b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega))} d\varepsilon - \int_{\varepsilon_V - \hbar\omega}^{\varepsilon_V} \varepsilon \exp(-a(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega)^2) d\varepsilon \right], \quad (16)$$

$$\alpha(\hbar\omega) = \frac{A}{E_g \hbar\omega} \left[ \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_C} (\hbar\omega - \varepsilon_V) \frac{1}{ch(b(\varepsilon - \varepsilon_D))} d\varepsilon + \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_C} \varepsilon \exp(-a(\varepsilon - \varepsilon_D)^2) d\varepsilon \right]. \quad (17)$$

бу ифодалардаги  $a$  ва  $b$  параметрлар орасидаги боғланиш шarti  $a=b^2/\pi$  кўринишда танланса мақсадга мувофиқ бўлади. Чунки бу боғланиш гиперболиксеканс ва Гаусс тақсимоти билан аниқланадиган нуқсонларнинг концентрациялари тенг бўлишини ифодалайди. Бу интегралларнинг аналитик ечимлари қуйидаги кўринишларда ёзилади:

$$\alpha(\hbar\omega) = \frac{A}{E_g \hbar\omega} \left\{ \frac{2}{b} (\varepsilon_C - \varepsilon_D + \hbar\omega) \left[ \arctg(\exp(b(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega))) - \arctg(\exp(b(\varepsilon_V - \varepsilon_D))) \right] + \frac{1}{2a} \left[ \exp(-a(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega)^2) - \exp(-a(\varepsilon_V - \varepsilon_D)^2) \right] \right\} \quad (18)$$

$$\alpha(\hbar\omega) = \frac{A}{E_g \hbar\omega} \left\{ \frac{2}{b} (\varepsilon_D - \varepsilon_V + \hbar\omega) \left[ \arctg(\exp(b(\varepsilon_C - \varepsilon_D))) - \arctg(\exp(b(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega))) \right] - \frac{1}{2a} \left[ \exp(-a(\varepsilon_C - \varepsilon_D)^2) - \exp(-a(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega)^2) \right] \right\} \quad (19)$$

(18) ва (19) формуларни ҳисоблашдан олинган натижалар 3-*b* расмда келтирилган. Ҳисоблашлар 3-*a* ва 3-*b* расмлар бир-биридан деярли фарқ қилмаслигини ва спектрлардаги кучсиз максимум  $\hbar\omega = \varepsilon_C - \varepsilon_D$  ва  $\hbar\omega = \varepsilon_D - \varepsilon_V$  ларга тенг бўлган энергетик сатҳларда ётишини кўрсатди. Бу натижалар рухсат этилган зоналар ва нуқсонлардаги электрон ҳолатлар орасидаги оптик ўтишлардан аниқланадиган оптик ютилиш коэффициенти спектрларининг кўриниши бу зоналардаги электрон ҳолатлар тақсимотининг даражалари кўринишига боғлиқ бўлмаслигини кўрсатади.

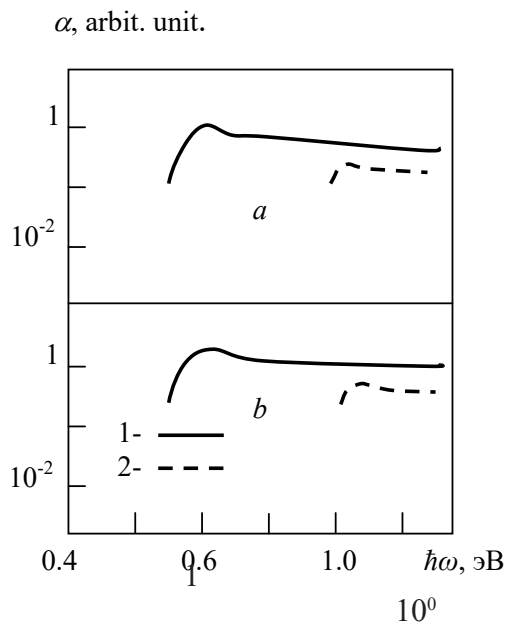
**2-усул.**  $\varepsilon_{01} - \varepsilon_V < \hbar\omega$  ва  $\varepsilon_C - \varepsilon_{02} < \hbar\omega$  энергияли фотонлар ютилганда, электронларнинг нуқсонлар ва рухсат этилган зоналар орасидан оптик ўтишлари билан бир вақтнинг ўзида нуқсон ва рухсат этилган зоналарнинг думлари орасида оптик ўтишлар ҳам содир бўлади (2-расмдаги 1-, 2-, 3- ва 4-оптик ўтишлар). Бундай ҳолларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикаларини ҳисоблашда Кубо-Гринвуд формуласини бу ўтишларга мослаб компоненталарга ажратиб олиш кераклиги [7. Б. 54] ишда кўрсатилган. Шунинг ҳисобга олиб (1) ифодани валент зона ҳамда унинг думидаги ва нуқсонлар орасидаги электрон ўтишлар учун қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\alpha \sim \int_{\varepsilon_{01}-\hbar\omega}^{\varepsilon_{01}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \int_{\varepsilon_V}^{\varepsilon_{01}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} + \int_{\varepsilon_{01}-\hbar\omega}^{\varepsilon_V} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \alpha_1 + \alpha_2. \quad (20)$$

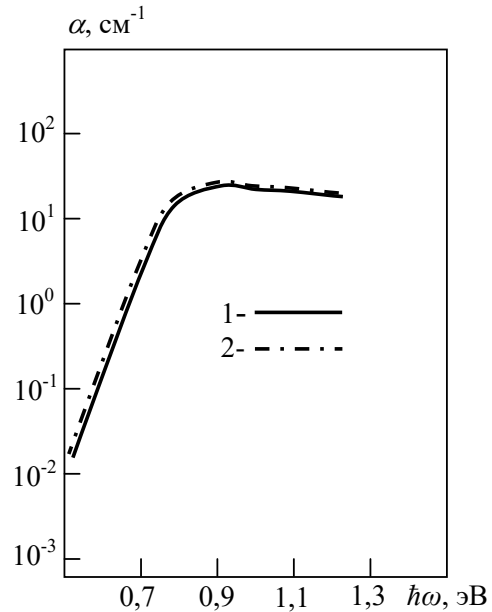
Бу формуладаги  $\alpha_1$  – валент зонанинг думидан нуқсонларга,  $\alpha_2$  эса валент зонадан нуқсонларга электронларнинг оптик ўтишлари билан аниқланади. Бу ифодага валент зона думидаги ҳамда нуқсонлардаги электрон ҳолатлар тақсимот функцияларини қўйиб,  $\alpha_1$  учун

$$\alpha_1 = \frac{A}{b\hbar\omega} \exp(b(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega)) \left[ 2b(\varepsilon_{01} - \varepsilon_V) - \ln \left[ \frac{1 + \exp(2b(\varepsilon_{01} - \varepsilon_D + \hbar\omega))}{1 + \exp(2b(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega))} \right] \right] \quad (21)$$

ифодани оламиз.



3-расм. Рухсат этилган  $b$  зоналар ва нуқсонлардаги электрон ҳолатлар орасидаги оптик ўтишларнинг спектрлари  $E_g=1,8$  эВ, е



4-расм. Электронларни нуқсондан ўтказувчанлик зонасига оптик ўтишлари билан аниқланувчи ютилиш коэффициенти спектрал характеристикалари. 1-эгри чизик (12) ва (18) формулалардан, 2-эгри чизик (32) формулалардан олинган, бу ерда  $E_g=1,8$  эВ, е

Валент зонадаги электрон ҳолатларнинг турли тақсимотлари учун  $\alpha_2$  ни ҳисоблаймиз:  $n_T=1/2$  бўлганда, аналитик ечимни олиш мумкин эмас, шунинг учун спектрал характеристикани

$$\alpha_2 = \frac{2A}{\hbar\omega} \int_{\varepsilon_{01}-\hbar\omega}^{\varepsilon_V} \sqrt{\frac{\varepsilon_C - \varepsilon}{E_g}} \frac{d\varepsilon}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega))} \quad (22)$$

ифодадан тақрибий ҳисоблаш усули билан аниқлаймиз.  $n_T=1$  да аналитик ечим

$$\alpha_2 = \frac{2A}{E_g \hbar\omega} \left[ \frac{\varepsilon_C - \varepsilon_D + \hbar\omega}{b} \arctg\left(\frac{\exp(b(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega)) - \exp(b(\varepsilon_{01} - \varepsilon_D))}{1 + \exp(b(\varepsilon_V + \varepsilon_{01} - 2\varepsilon_D + \hbar\omega))}\right) + \frac{1}{4a} (\exp(-a(\varepsilon_V - \varepsilon_D + \hbar\omega)^2) - \exp(-a(\varepsilon_{01} - \varepsilon_D)^2)) \right] \quad (23)$$

кўринишида бўлади.

## ФИЗИКА

Электронларнинг нуқсонлардаги ҳолатлардан ўтказувчанлик зонаси ва унинг думидаги ҳолатларга оптик ўтишлари учун ютилиш коэффициенти спектрларини ҳисоблашда

$$\alpha \sim \int_{\varepsilon_{02}-\hbar\omega}^{\varepsilon_{02}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \int_{\varepsilon_N-\hbar\omega}^{\varepsilon_{02}} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} + \int_{\varepsilon_{02}-\hbar\omega}^{\varepsilon_N-\hbar\omega} g(\varepsilon)g(\varepsilon+\hbar\omega)\frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (24)$$

ифодадан фойдаланиш керак бўлади. Бу ердаги  $\alpha_1$  – нуқсонлардан ўтказувчанлик зонасига,  $\alpha_2$  эса нуқсонлардан ўтказувчанлик зонаси думига электрон ўтишларни аниқлайди.

Ҳисоблашларни бажариш учун юқоридаги усуллардан фойдаланамиз. Нуқсонлардан ўтказувчанлик зонаси думига электронларнинг оптик ўтишлари спектрларини аниқлаймиз:

$$\alpha_2 = \frac{A}{b\hbar\omega} \exp(b(\varepsilon_D - \varepsilon_C + \hbar\omega)) \left[ 2b(\varepsilon_C - \varepsilon_{02}) - \ln \left[ \frac{1 + \exp(-2b(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega))}{1 + \exp(-2b(\varepsilon_{02} - \varepsilon_D - \hbar\omega))} \right] \right]. \quad (25)$$

Нуқсонлардан ўтказувчанлик зонасига электронларнинг оптик ўтишлари спектрлари учун  $n_2=1/2$  да

$$\alpha_1 = \frac{2A}{\hbar\omega} \int_{\varepsilon_C-\hbar\omega}^{\varepsilon_{02}} \frac{1}{\exp(b(\varepsilon - \varepsilon_D)) + \exp(-b(\varepsilon - \varepsilon_D))} \sqrt{\frac{\varepsilon - \varepsilon_V + \hbar\omega}{E_g}} d\varepsilon, \quad (26)$$

$n_2=1$  да эса

$$\alpha_1 = \frac{2A}{E_g \hbar\omega} \left[ \frac{\varepsilon_D - \varepsilon_V + \hbar\omega}{b} \arctg\left(\frac{\exp(b(\varepsilon_{02} - \varepsilon_D)) - \exp(b(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega))}{1 + \exp(b(\varepsilon_{02} + \varepsilon_C - 2\varepsilon_D - \hbar\omega))}\right) - \frac{1}{4a} (\exp(-a(\varepsilon_{02} - \varepsilon_D)^2) - \exp(-a(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega)^2)) \right] \quad (27)$$

ифодаларни оламиз.

4-расмда (10), (11), (20) ва (24) 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.

Ҳисоблашлардан нуқсонлардаги электрон ҳолатлар максимумлари энергетик ўрнининг ( $\varepsilon_D$ ) ўзгариши ҳам фақат ютилиш коэффициенти қийматларининг ўзгаришига олиб келиши аниқланди. Нуқсонларнинг энергетик ўрни рухсат этилган зоналардан узоқлашганда, ютилиш коэффициентининг максимум қиймати кичрайиб бориши, акс ҳолда эса ортиб бориши кўрсатилди. Аммо бу ўзгаришларда нуқсонларда ютилиш спектрлари билан чегараланган юза ўзгармай қолиши аниқланди.

Аммо тажрибалар спектрлар кўриниши турли намуналар учун уларни ўстириш технологияси ўзгарганда ўзгариши мумкин эканлигини кўрсатади. Мисол сифатида, 1-расмда псевдолегирилган *a-Si:H* намуналари учун нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикалари келтирилган. Бу намуналарнинг барчаси бир хил технологияда (силан газини милтиллама разрядда парчалашдан псевдолегириллаш усулида) ўстирилгани учун нуқсонларни аниқловчи параметрларнинг (концентрацияси, энергетик ўрни ва бошқалар) ўзгариши уларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасининг кўринишини ўзгартирмаслиги керак эди. Уларга қараб битта савол туғилиши аниқ. Нима учун ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасининг нуқсонларда ютилиш соҳаси бир-биридан катта фарқ қилади?

Буни зоналардаги локаллашмаган электрон ҳолатлари зичликларининг тақсимоти билан тушунтириш мумкин экан. 1-расмдаги тажрибалардан аниқланган нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикаларидан баъзилари аниқ максимум ва минимумларга эгаллигини кўриш мумкин. Бу ҳолни қуйидагича изоҳлаймиз. Маълумки, валент ва ўтказувчанлик зоналаридаги ҳолатлар зичлигининг энергияга боғланиши жуда мураккаб бўлиб, бир нечтадан максимум ва минимумларга эга бўлиши мумкин [1. Б. 64]. Шунинг ҳисобга олган ҳолда, рухсат этилган зоналарнинг чегараларидаги локаллашмаган электрон ҳолатлари Гаусс ёки гиперболиксеканс тақсимотига бўйсунувчи ҳолатлар ҳосил қилади деб фарз қиламиз, яъни ўтказувчанлик зонаси чегараси учун

$$g(\varepsilon) = N(\varepsilon_C) \exp\left(-a(\varepsilon - \varepsilon_C)^2\right) \approx N(\varepsilon_C) \frac{1}{ch(b(\varepsilon - \varepsilon_C))}, \quad (28)$$

валент зона чегараси учун эса

$$g(\varepsilon) = N(\varepsilon_V) \exp\left(-a(\varepsilon - \varepsilon_V)^2\right) \approx N(\varepsilon_V) \frac{1}{ch(b(\varepsilon - \varepsilon_V))} \quad (29)$$

ифодаларни ёзамиз. Рухсат этилган зоналар ва нуқсонлардаги электрон ҳолатлари орасидаги оптик ўтишлар учун ютилиш спектрларини Кубо-Гринвуд формуласидан мос равишда

$$\alpha = A \int_{\varepsilon_V}^{\varepsilon_0} \frac{1}{ch(b_1(\varepsilon - \varepsilon_D))ch(b_2(\varepsilon - \varepsilon_C + \hbar\omega))} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (30)$$

$$\alpha = A \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_0} \frac{1}{ch(b_1(\varepsilon - \varepsilon_V))ch(b_2(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega))} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (31)$$

кўринишларда ёзамиз. Буларнинг шу туришида аналитик ечимларини олиш мумкин эмас. Тақрибий ҳисоблашлар (30) ва (31) формулалардаги  $b_1$  ва  $b_2$  ларнинг қийматлари бир-биридан катта фарқ қилмаганда, уларнинг ўрнига  $b = (b_1 + b_2)/2$  ифода қўйилса, йўл қўйиладиган хатолик тажрибаларда йўл қўйиладиган хатоликлардан (9%) катта бўлмаслигини кўрсатди. Шунини ҳисобга олиб уларни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\alpha = A \int_{\varepsilon_V}^{\varepsilon_0} \frac{1}{ch(b(\varepsilon - \varepsilon_D))ch(b(\varepsilon - \varepsilon_C + \hbar\omega))} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}, \quad (32)$$

$$\alpha = A \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_0} \frac{1}{ch(b(\varepsilon - \varepsilon_V))ch(b(\varepsilon - \varepsilon_D + \hbar\omega))} \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega}. \quad (33)$$

Булардан электронларнинг нуқсонлардан ўтказувчанлик зонасига оптик ўтишлари ютилиш коэффициенти учун қуйидаги натижани оламиз:

$$\alpha = \frac{A}{b\hbar\omega} \frac{1}{sh(b(\varepsilon_C - \varepsilon_D - \hbar\omega))} \ln \left[ \frac{1 + \left(\frac{g(\varepsilon_D)}{N(\varepsilon_C)}\right)^2 + 2\left(\frac{g(\varepsilon_D)}{N(\varepsilon_C)}\right)ch(b(\varepsilon_C - \varepsilon_D))}{1 + \left(\frac{g(\varepsilon_D)}{N(\varepsilon_C)}\right)^2 + 2\left(\frac{g(\varepsilon_D)}{N(\varepsilon_C)}\right)ch(b(2\hbar\omega - \varepsilon_C - \varepsilon_D))} \right]. \quad (34)$$

Валент зонадан нуқсонлардаги ҳолатларга оптик ўтишлар учун эса

$$\alpha = \frac{A}{b\hbar\omega} \frac{1}{sh(b(\varepsilon_D - \varepsilon_V - \hbar\omega))} \ln \left[ \frac{1 + \left(\frac{N(\varepsilon_V)}{g(\varepsilon_D)}\right)^2 + 2\left(\frac{N(\varepsilon_V)}{g(\varepsilon_D)}\right)ch(b(\varepsilon_D - \varepsilon_V))}{1 + \left(\frac{N(\varepsilon_V)}{g(\varepsilon_D)}\right)^2 + 2\left(\frac{N(\varepsilon_V)}{g(\varepsilon_D)}\right)ch(b(2\hbar\omega - \varepsilon_D - \varepsilon_V))} \right] \quad (35)$$

ифодани олиш мумкин. Бу формулалар ёрдамида олинган ҳисоблаш натижалари 5-расмда келтирилган (уни 1-расм билан солиштириб кўриш мумкин). Расмдан кўринадики, ютилиш коэффициенти спектрал характеристикаси аниқ максимумга эга бўлиб, бу максимумларнинг энергетик ўрни  $\hbar\omega = \varepsilon_C - \varepsilon_D$  ва  $\hbar\omega = \varepsilon_D - \varepsilon_V$  сатҳларда ётар экан. Ҳисоблашлардан  $b$  нинг қиймати кичиклашиб борган сари спектрал характеристиканинг яримкенглиги ортиб бориши ҳисобига максимум йўқолиб бориши аниқланди.

Бу натижалар нуқсонлардаги электрон ҳолатлар зичлиги тақсимотининг кўриниши бир хил (бундан уларнинг концентрациялари тенг бўлиши келиб чиқади), аммо рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар зичлиги тақсимоти ҳар хил бўлган намуналарнинг нуқсонларда ютилиш коэффициенти спек-

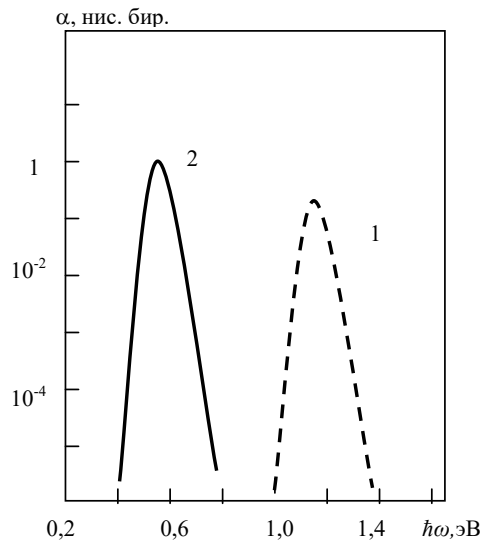


## ФИЗИКА

рал характеристикалари бир-бирдан катта фарқ қилиши мумкинлигини кўрсатади. Бундан ҳозирги пайтгача адабиётларда нуқсонларнинг концентрациясини аниқлаш учун ишлатиладиган қуйидаги:

$$N_D = N_0 \int_{\hbar\omega_1}^{\hbar\omega_0} \Delta\alpha(\hbar\omega) d(\hbar\omega) = N_0 \int_{\hbar\omega_1}^{\hbar\omega_0} (\alpha_{B06}(\hbar\omega) - \alpha_{MA}(\hbar\omega)) d(\hbar\omega) \quad (36)$$

формуланнинг барча гидрогенизацияланган аморф яримўтказгичлар учун доим ҳам тўғри бўлмаслиги келиб чиқади. Бу ердаги пропорционаллик коэффициентининг қиймати аморф яримўтказгич материалга боғлиқ бўлиб, псевдолегиранган гидрогенизацияланган аморф кремний учун у  $N_0 = 7,9 \cdot 10^{15}$  эВ<sup>-1</sup>см<sup>-2</sup> га тенг [8. Б. 32].



**5-расм.** Гидрогенизацияланган аморф яримўтказгичларнинг рухсат этилган зоналарининг чегарасида максимумлар бўлган ҳол учун нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрлари

$$E_g = 1,8 \text{ эВ}, 1 - \varepsilon_C - \varepsilon_{D1} = 0,6 \text{ эВ}, 2 - \varepsilon_C - \varepsilon_{D2} = 1,2 \text{ эВ}.$$

[9. Б. 6239] ишда фосфор билан легиранган гидрогенизацияланган аморф кремнийнинг ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасидан фойдаланиб ҳаракатчанлик тирқишида жойлашган электрон ҳолатлари зичлиги аниқланган. Олинган натижаларга кўра, фосфор ҳосил қиладиган донор сатҳ валент зона яқинида жойлашади деган хулосага келинган. Аммо [10. Б. L35] ишда а-Si:H даги фосфор ҳосил қиладиган сатҳ ўтказувчанлик зонаси яқинида жойлашиши кўрсатилган. Энди [9] ишда олинган натижаларга қайтамыз. Агар электронлар бир вақтнинг ўзида фосфор ҳосил қиладиган донор сатҳ ва рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар орасидаги оптик ўтишларда иштирок этади деб ҳисобласак, [9] ва [10] ишларда келтирилган натижаларнинг бир-бирига мос келмаслиги бартараф қилинган бўлар эди. Бу ишда олинган натижалар нуқсонларда ютилиш соҳасидаги спектрал характеристиканинг кўринишини асосан рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар белгилашини кўрсатади.

Хулоса. Ишда олинган натижалардан қуйидаги хулосаларни чиқариш мумкин:

- оптик ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасининг нуқсонларда ютилиш соҳаси кўринишини, асосан, рухсат этилган зоналардаги электрон ҳолатлар зичлигининг тақсимооти аниқлайди;
- рухсат этилган зоналар чегараларидаги электрон ҳолатлар тақсимооти даражали бўлганда, ютилган фотонларнинг энергиялари  $\hbar\omega = \varepsilon_C - \varepsilon_D$  ва  $\hbar\omega = \varepsilon_D - \varepsilon_V$  ларга тенг бўладиган нуқталарда нуқсонларда ютилиш спектрлари кучсиз максимумга эга бўлади;
- нуқсонларда ютилиш коэффициенти спектрал характеристикасида аниқ максимумлар фақат валент ёки ўтказувчанлик зоналарининг чегараларидаги электрон ҳолатлар тақсимоотида максимумлар бўлгандагина тажрибалардан олинадиган натижаларга мос келувчи аниқ максимумлар ҳосил бўлади, бу максимумларнинг энергетик ўрни  $\hbar\omega = \varepsilon_C - \varepsilon_D$  ёки  $\hbar\omega = \varepsilon_D - \varepsilon_V$  ҳолатларда ётади.

Булардан а-Si:H нуқсонларда ютилиш спектрларидан фойдаланиб нуқсонларнинг энергетик ўрини аниқлаш мумкин эканлиги келиб чиқади. [2. Б. 206] ишда а-Si:H намуналаридаги асосий нуқ-

сонларнинг ( $D^0$ ,  $D^-$ ,  $D^+$ ) энергетик ўринлари  $\epsilon_c - \epsilon_D^0 = 0,95 - 1,05$  эВ,  $\epsilon_c - \epsilon_D^- = 0,65 - 0,75$  эВ,  $\epsilon_c - \epsilon_D^+ = 0,35 - 0,45$  эВ оралиқда ётиши кўрсатилган. Буни ҳисобга олиб, 1-расмдаги нуқсонларда ютилиш спектрларидан кўриш мумкинки, бу намуналардаги нуқсонларнинг барчаси нуқсон  $D^0$  бўлиб, уларнинг энергетик ўрни  $\epsilon_c - \epsilon_D^- = 0,65 - 0,75$  эВ оралиқда ётар экан.

### Адабиётлар

1. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. – Т. 1. – Москва: Мир, 1982. – 368 с.
2. Tanaka K., Okushi H. Defect states and carrier process in a-Si:H // Journal of Non-Crystalline Solids. – 1984, 66. №1-2. – P. 205 – 208.
3. Зайнобидинов С., Икромов Р.Г., Жалалов Р.М., Нуриддинова М.А. Распределение плотности электронных состояний в разрешенных зонах и межзонные поглощения в аморфных полупроводниках // Оптика и спектроскопия. – 2011. – Т. 110. – №5. – С. 813 – 818.
4. Икромов Р.Г. Функция распределения электронных состояний оборванных связей в аморфных полупроводниках // Естественные и технические науки – №6 (32), 2007. – С. 58 – 63.
5. Бродски М. Аморфные полупроводники. – Москва: Мир, 1982. – 419 с.
6. Zaynobidinov S., Ikromov R.G., Jalalov R.M. Urbach energy and the tails of the density of states in amorphous semiconductors // Journal of Applied Spectroscopy, 2011. – Vol. 78. – №2. – P. 223 – 227.
7. Зайнобидинов С., Икромов Р.Г., Нуриддинова М.А., Жалалов Р.М. Функция распределения дефектных состояний и спектры коэффициента поглощения аморфных полупроводников // Uzbek Journal of Physics. – 2009. – Vol. 11 (1). – P. 52 – 57.
8. Рахимов Н., Кучкаров Х.О., Икромов Р.Г. Исследование дефектных состояний в псевдолегированном a-Si:H методом постоянного фототока // Uzbek Journal of Physics. – 1994. – №5. – С. 30 – 33.
9. Street R.A., Winer R. Defect equilibria in undoped a-Si:H // Phys. Rev. B. – 1989. – №40 (9). – P. 6236 – 6249.
10. LeComber P.G., Spear W.E. The energy of the dangling-bond // Philosophical Magazine B. – 1986. – V. 53. – №1. – P. L33 – L40.

## SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE ABSORPTION COEFFICIENT AND ENERGY POSITION OF DEFECTS

S.Zaynobidinov<sup>1</sup>, R.G.Ikromov<sup>2</sup>, M.A.Nuriddinova<sup>2</sup>, Kh.A.Muminov<sup>2</sup>, R.M.Zhalalov<sup>3</sup>

*Ilmiy xabarnoma. Fizika-matematika tadqiqotlari – Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research. 2019. 2. 5 – 14.*

<sup>1</sup>Andijan State University, Andijan, 170100, str. University, 129 (Uzbekistan). E-mail: agsu\_info@edu.uz

<sup>2</sup>Namangan Engineering-Technological Institute, Namangan, 160115, str. Kasansay, 7 (Uzbekistan) E-mail: niei\_info@edu.uz

<sup>3</sup>Namangan State University, Namangan, 160136, str. Uychi, 316 (Uzbekistan). E-mail: info@namdu.uz

**Keywords:** amorphous hydrogenated silicon, density distribution of electron states of defects, density distribution of electronic states in the allowed zones, Kubo-Greenwood formula, Davis-Mott approximation, optical transitions between defects and the allowed zones, defect absorption spectra, energy position of defects.

In this paper, a theoretical method to study the spectral characteristics of the absorption coefficient, namely the area of defective absorption of amorphous hydrogenated silicon according to the Davis-Mott approximation from the Kubo-Greenwood formula. It is shown that using the experimental spectral characteristic of the defect absorption coefficient, one can determine the energy position of defects in the mobility gap.

Optical transitions of electrons, in which electronic states participate in defects, indicate that there are three types of optical transitions of electrons: between defects, between defects and tails of allowed zones, and also between defects and allowed zones.

It was found that the absorption coefficient deter-

mined by the optical transitions between defects and allowed zones play a major role in them. The spectra of the optical absorption coefficient for the region of the defect absorption coefficient are obtained. To obtain the analytical views of these spectra, the density distribution of electronic states located in defects is chosen in the form: Gaussian distribution or hyperbolic secant distribution. The density of electronic states within the boundaries of the allowed bands obeyed the parabolic, linear, and Gaussian distribution.

It is shown that the values and the form of the spectra of the defect absorption coefficient are determined by the electron density distribution in the allowed bands. It is shown that the analytical expressions of the spectra can

be calculated with two different methods and the resulting expressions differ from each other, but their graphs define the same curve.

The electron density distribution within the allowed bands is power-law, the defect absorption spectra had a weak maximum when the energy of the absorbed photons is  $\hbar\omega = \varepsilon_C - \varepsilon_D$  and  $\hbar\omega = \varepsilon_D - \varepsilon_V$ .

It was also shown that the maxima appear in the spectra of the defect absorption coefficient only when the pronounced maxima in the density distribution of electronic states at the boundaries of the valence band or conduction band. It is determined that these maxima are in the energy position  $\hbar\omega = \varepsilon_C - \varepsilon_D$  or  $\hbar\omega = \varepsilon_D - \varepsilon_V$ .

At the same time, irrespective of the charge state of defects, such as neutral, positive or negative, they participate simultaneously in the optical transitions between the valence band and the defect, as well as between the defect and the conduction band.

The results obtained in this article can also be applied to dopants.

It is shown that the formula used to determine the defect concentration of amorphous hydrogenated silicon in [8] cannot be used by all amorphous semiconductors.

It is also shown that the incompatibility of the results presented in [9] and [10] can be eliminated by the results obtained in this paper.

Thus, in the present work it is shown that the experimental defect absorption spectra can be applied to detect the energy position of defects of amorphous hydrogenated silicon. As it is known, the main defects of amorphous hydrogenated silicon are found,  $D^0$  is neutral,  $D^-$  is negative and  $D^+$  is positive charge states, energy positions are located in the intervals  $\varepsilon_C - \varepsilon_{D^0} = 0,95-1,05$  eV,  $\varepsilon_C - \varepsilon_{D^-} = 0,65-0,75$  eV,  $\varepsilon_C - \varepsilon_{D^+} = 0,35-0,45$  eV. Given this, from the experimental results obtained for the defective absorption of amorphous hydrogenated silicon in the present work, it can be assumed that the main defect of amorphous hydrogenated silicon is the neutral defect  $D^0$ , and its energy position is within  $\varepsilon_C - \varepsilon_{D^0} = 0,65-0,75$  eV.

### References

1. Mott, N.F. Davis, E.A (1979) *Elektronnyye processy v nekrystallicheskih veshchestvah* [Electron processes in non-crystalline materials]. Moscow: Mir.
2. Tanaka, K. Okushi, H. (1984) Defect states and carrier process in a-Si:H., *Journal of Non-Crystalline Solids*, 66, N1&2, pp 205-208.
3. Zaynovidinov, S., Ikramov, R.G., Zhalalov, R.M, and Nuritdinova, M.A. Raspredeleniya plotnosti elektronnyh sostoyanij v razreshennyh zonah i mezhzonnye pogloshcheniya v amorfnyh poluprovodnikah [Distribution of electron density of states in allowed bands and interband absorption in of amorphous semiconductors]. *Optika i spectroscopiya*. Vol. 110. 5. Pp. 762-766.
4. Ikramov, R.G. (2007) Funkciya raspredeleniya elektronnyh sostoyanij oborvannyh svyazej v amorfnyh poluprovodnikah [The distribution function of electronic states of dangling bonds in amorphous semiconductors]. *Yestestvennye i tekhnicheskie nauki*. 6. Pp. 58-63.
5. Brodsky, M.H (1982) *Amorfnye poluprovodniki* [Amorphous semiconductors]. Moscow: Mir.
6. Zaynovidinov, S., Ikramov, R.G., Jalalov, R.M. (2011) Urbach energy and the tails of the density of states in amorphous semiconductors. *Journal of Applied Spectroscopy*. Vol. 78. No. 2. Pp. 223-227.
7. Zaynovidinov, S., Ikramov, R.G., Nuritdinova, M.A., Zhalalov, R.M. (2009) Funkciya raspredeleniya defektnykh sostoyanij i spektry koeffitsienta pogloshcheniya amorfnyh poluprovodnikov. *Uzbek Journal of Physics*. Vol.11 No. 1. Pp. 52-57.
8. Rahimov, N., Quchqarov, X.O., Ikramov, R.G. (1994) Issledovanie defektnykh sostoyanij v psevdolegirovannom a-Si:H metodom postoyannogo fototoka [Investigation of defective states in pseudo-doped a-Si: H by the method of constant photocurrent]. *Uzbek Journal of Physics*. 5. Pp. 30-33.
9. Street, R.A., Winer, R. (1989) *Defect equilibria in undoped a-Si:H*. *Phys. Rev. B*. 40. No. 9. Pp. 6236-6249.
10. LeComber, P.G., Spear, W.E., (1986) *The energy of the dangling-bond*. *Philosophical Magazine B*. Vol. 53, No. 1. Pp. L33-L40.

*Муаллифлар ҳақида маълумот:*

**Зайнобидинов Сирожиддин Зайнобидинович** – Андижон давлат университети физика кафедраси профессори, физика-математика фанлари доктори, ЎзР ФА академиги. E-mail: prof\_sirojiddin@mail.ru

**Икравов Рустамжон Ғулумжонович** – Наманган муҳандислик технология институти физика кафедраси профессори, физика-математика фанлари доктори. E-mail: rgikramov@mail.ru

**Нуриддинова Машхураҳон Анваровна** – Наманган муҳандислик технология институти физика кафедраси катта ўқитувчиси, физика-математика фанлари номзоди. E-mail: sirus83@mail.ru

**Муминов Хуршид Адхамжон ўғли** – Наманган муҳандислик технология институти физика кафедраси ўқитувчиси. E-mail: xamuminov@mail.ru

**Жалалов Равшанбек Махмудханович** – Наманган давлат университети физика кафедраси катта ўқитувчиси. E-mail: rjalalov79@mail.ru