

4. Auezov M.M. Enkidiada: k probleme edinstva mirov kochevya i osedlosti //Kochevnik. Estetika: Poznanie mira tradisionnym kazahskim iskusstvom. – Almaty: «Gylym», 1993. – S. 32-53.
5. Grebennikova V.M., Zaharova M.V. i dr. Psihologiya, ergonomika i akmeologiya: sovremennye tendensii razvitiya i perspektivnye metody issledovaniya: monografiya. – El. izd. – Nijni Novgorod: NOO «Professionalnaya nauka», 2018. – 143 s.
6. Nurlanova K.Ş. Estetika hudojestvennoi kultury kazahskogo naroda. – Alma-Ata: İzd-vo «Nauka», 1987. – 176 s.
7. Akbaeva L.N., Akbaeva A.N. İstoriya kazahskoi esteticheskoi mysli: monografiya. – Almaty: ALiT, 2021. – 105 s.

DOI 10.53364/24138614\_2021\_23\_4\_52

УДК 621.311.001.57

<sup>1</sup>Кемелбекова А.Е., <sup>2</sup>Шонғалова А.Қ., <sup>3</sup>Шегебай С.Қ., <sup>4</sup>Мухамедшина Д.М.  
<sup>1,2,3,4</sup> Сәтпаев университеті, Физика-техникалық институты, Алматы қ., ҚР.

<sup>1</sup>E-mail: [a.kemelbekova@mail.ru](mailto:a.kemelbekova@mail.ru)

<sup>2</sup>E-mail: [shongalova.aigul@gmail.com](mailto:shongalova.aigul@gmail.com)

<sup>3</sup>E-mail: [salta2597@gmail.com](mailto:salta2597@gmail.com)

<sup>4</sup>E-mail: [muk-daniya@yandex.ru](mailto:muk-daniya@yandex.ru)

## ЖҰҚА ҚАБАТТЫ КҮН БАТАРЕЯЛАРЫНА АРНАЛҒАН SCAPS-1D МОДЕЛЬДЕУ БАҒДАРЛАМАСЫНА ӘДЕБИ ШОЛУ

### ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ПРОГРАММЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ SCAPS-1D ДЛЯ ТОНКОСЛОЙНЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

### LITERATURE REVIEW OF THE SCAPS-1D SIMULATION PROGRAM FOR THIN-LAYER SOLAR CELLS

**Аңдатпа.** Бұл жұмыста SCAPS-1D модельдеу бағдарламасына әдеби шолу жасалады. SCAPS-те сандық талдау ұсынылған физикалық құрылымның орындылығын және оның жұмысын бағалаудың міндетті тәсілі болып табылады. SCAPS-1D шегі-бұл бірнеше қосылыстарды модельдеу орталарында (pnp, pnp, tandem) нашар жұмыс істейді. Бұл бағдарлама берілген жұмыс нүктесіндегі энергия диапазондарын, концентрациялар мен токтарды, J-V сипаттамаларын, айнымалы ток сипаттамаларын, спектрлік сипаттаманы есептейді және 7 жартылай өткізгіш қабаттарға дейін тізбек құра алады.

**Түйін сөздер:** SCAPS-1D, күн элементі, жартылай өткізгіш, тандемді күн элементі.

**Аннотация.** В данной работе приведен литературный обзор программы моделирования Scaps-1D. Численный анализ в SCAPS является обязательным подходом для оценки осуществимости предлагаемой физической структуры и ее производительности. Ограничение SCAPS заключается в том, что он плохо работает в средах моделирования нескольких соединений (pnp, pnpn, tandem). Данная программа вычисляет энергетические диапазоны, концентрации и токи в заданной рабочей точке, характеристики J-V,

характеристики переменного тока, спектральную характеристику и может построить схему до 7 полупроводниковых слоев.

**Ключевые слова:** SCAPS-1D, солнечный элемент, полупроводниковый, тандемный солнечный элемент.

**Abstract.** This paper provides a literature review of the Scaps-1D modeling program. Numerical analysis in SCAPS is a mandatory approach to assess the feasibility of the proposed physical structure and its performance. The limitation of CAPS is that it does not work well in multi-connection simulation environments (pnp, npn, tandem). This program calculates energy ranges, concentrations and currents at a given operating point, J-V characteristics, AC characteristics, spectral characteristics and can build a circuit of up to 7 semiconductor layers.

**Key words:** SCAPS-1D, solar cell, semiconductor, tandem solar.

### Кіріспе

Модельдеу процестері уақытты және күрделілікті қажет ететін эксперименттер жүргізуге қарағанда, қол жетімді, арзан және жылдам екенін байқауға болады. Күн батареяларын сандық модельдеу үшін көптеген бағдарламалық модельдеу құралдары бар. Бірақ олардың ішінде ең көп қолданылатын бағдарлама-SCAPS-1D болып табылады. Бағдарлама бастапқыда  $\text{CuInSe}_2$  және  $\text{CdTe}$  материалы негізінде алынатын құрылымдарына арналған. SCAPS-1D тренажері эксперименттік жұмысқа сәйкес қолдануға болатын бірнеше күн батареяларын модельдеу үшін қолданылады. Бағдарламаның соңғы нұсқасы бойынша кристалды күн элементтеріне (Si және GaAs тобы) және аморфты элементтерге (a-Si және микроморфты Si) қолдануға мүмкіндік береді

SCAPS-1D (күн батареяларының сыйымдылығы тренажері) - бұл Бельгияның Гент университетінің электроника және ақпараттық жүйелер факультетінде (ELIS) ойлап шығарылған бағдарлама болып табылады. SCAPS- бағдарламалық жасақтамасы 1996 жылы енгізілген [1], содан бері жетілдіріліп, функционалды өзгертулер енгізілген [2-7]. Бағдарлама жұқа пленкалы фотоэлектрлік жүйелерді модельдеу үшін арнайы жасалған және өңдеуге қажет нәрсенің жақсы сипаттамасы болып табылады [8]. SCAPS жартылай өткізгіштердің негізгі теңдеулерін шешуге және олардың интерфейстеріне қосымша әртүрлі материалдардың жеті қабатын өңдеуге арналған. Әр қабат физикалық қасиеттерге ие, олар қабаттың қалыңдығына байланысты немесе құрамына байланысты өзгереді. Бұл SCAPS-ті өте жан-жақты бағдарламалық жасақтама екендігін дәлелдейді. Алайда, кез-келген физикалық параметр әдетте жұқа пленкалар үшін байқалатын мәннен асып кетсе, SCAPS шешімнің конвергенциясына қол жеткізе алмайтын жағдайлар жиі кездеседі. Бағдарлама параметрлерді бір-біріне тәуелсіз орнатуға мүмкіндік береді, тіпті егер олардың арасында байланыс болса да, пайдаланушыға жоғары талаптар қойылады. Мысал ретінде модельде рекомбинация профилін оңай құруға болады, яғни  $U(x)$  (және кумулятивті рекомбинация, кез-келген байланыстан бастап,  $\sum U(x)$  көлемді рекомбинацияның жалпы профилін береді. Сонымен қатар беті мен интерфейсін рекомбинациялауды қамтиды. Тағы бір маңызды ескерту, егер салыстырмалы зерттеу жүргізіліп, кейбір параметрлер зерттелсе, мысалы шамамен  $V_{oc}$  нәтижелер үшін нақты жұмыс нүктесі кернеу қадамының мөлшеріне байланысты аздап өзгеруі мүмкін. J-V экспоненциалды мінез-құлқына байланысты, бұл мәліметтерді қате түсіндіруге әкелуі мүмкін. соңғы нұсқасы, Бағдарламалық кешеннің соңғы нұсқасы SCAPS 3.8, 2020 жылы жаңартылған және мынандай мүмкіндіктерге ие:

- 7 жартылай өткізгіш қабатқа дейін енгізіп, зерттеуге болады;
- барлық параметрлерді жіктеуге болады (яғни ұяшықтың құрамына немесе тереңдігіне байланысты): мысалы, Eg, chi;, epsilon;, NC, NV, vthn, vthp,  $\mu_n$ ,  $\mu_p$ , NA, ND, NT және барлық ақаулар;
- рекомбинация механизмдері: аймақаралық (тікелей), oge рекомбинациясы, SRH-түрі;

- ақаулар деңгейі: көлемде немесе бөлу шекарасында; олардың зарядтау күйі мен рекомбинациясы ескеріледі;
- ақау деңгейі, заряд түрі: зарядсыз (идеализация), моновалентті (жалғыз донор, акцептор), екі валентті, көпвалентті (пайдаланушы анықтайды);
- ақау деңгейі, энергияның таралуы: бір деңгейлі, біртекті, Гаусс бойынша немесе комбинация;
- ақаулардың деңгейі, оптикалық қасиеттері: жарықтың тікелей қозуы мүмкін (қоспалардың фотоэлектрлік әсері, IPV);
- метастабильді ақаулар: CIGS-тегі белгілі метастабильді ақаулар үшін акцептор мен донор конфигурациялары арасындағы ауысулар;
- байланыстар: жұмыс функциясы немесе жазық ауқымы; оптикалық қасиеттері;
- туннельдеу: туннельдеу тобының ішінде (өткізгіштік аймағына немесе валенттік аймаққа);
- генерация: ішкі есептеуден немесе пайдаланушы ұсынған  $G(x)$  файлынан;
- жарықтандыру: жиынтықтағы әртүрлі стандартты және басқа спектрлер;
- жарықтандыру:  $p$  немесе  $n$  жағынан; спектрді өшіру және босату;
- есептеулер үшін жұмыс нүктесі: кернеу, жиілік, температура;
- бағдарлама берілген жұмыс нүктесіндегі энергия диапазондарын, концентрацияларын және токтарын,  $J$ - $V$  сипаттамаларын, айнымалы ток сипаттамаларын ( $V$  және/немесе  $f$ -қа байланысты  $C$  және  $G$ ), спектрлік сипаттаманы (сонымен қатар ығысу немесе кернеумен) есептейді.

Кіріс параметрлеріне шолу

Құрылғыларды модельдеудің негізі болып табылатын кіріс параметрлері негізгі теңдеулерді және тиісті теорияны шешу үшін қажет. 1-кестеде көлем мен интерфейс параметрлері туралы жиынтық мәліметтер келтірілген.

Кесте 1 - көлем мен интерфейс параметрлері

Параметр	Сипаттама	Өлшем бірлігі	Түсініктеме
$d$	Қабат қалыңдығы	$\mu\text{m}$	$x$ -бағыт
$y(x)$	Композиция	атомдық бірлік	Функция немесе вектор
$E_g(y)$	Тыйым салынған аймақтың энергиясы		$E_C - E_V$
$\alpha(\lambda, y)$	Жұтылу коэффициенті	$\text{cm}^{-1}$	Генератор көрсеткіші
$R(\lambda)$	Шағылуы	%	Алдыңғы стек көрінісі
$R_{s,sh}$	Сериялар/ шунттың кедергісі	$\Psi \text{ cm}^{-3}$	Сыртқы берілгені
$N(x, y)$	Легирлеу концентрациясы		$p$ - және $n$ -типті
$\epsilon_r(y)$	Диэлектрлік тұрақты	$\epsilon_0 (\text{F m}^{-1})$	Салыстырмалы диэлектрлік тұрақты
$\chi(y)$	Электронмен жұптасуы	$\text{eV}$	$E_{\text{vacuum}} - E_C$
$\mu(y)$	Шапшаңдығы	$\text{cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$	Жинау үшін маңызды
$m(y)$	Эффективті масса	$m_0 (\text{kg})$	Кристалдық құрылымы
$v_{th}$	Жылу жылдамдығы	$\text{cm s}^{-1}$	Салыстырмалы тиімді масса
$N(y)$	Күйлердің тиімді тығыздығы	$\text{cm}^{-3}$	Шаманың тәртібі
$B(y)$	Радиациялық коэффициенті	$\text{cm}^3 \text{ s}^{-1}$	$\alpha$ таразысы
$S$	Радиациялық шашырау коэффициенті	$\text{cm s}^{-1}$	Артқы және алдыңғы байланыс
$N_T(x, y)$	Бетті қалпына келтіру жылдамдығы	$\text{cm}^{-3}$	SRH рекомбинациясы.

$E_T(y)$	Ақаудың энергетикалық деңгейі	eV	SRH рекомбинациясы.
$b(y)$	Көлденең қимасы	cm <sup>2</sup>	SRH рекомбинациясы.
$\Phi_M$	Металл өңдеу функциясы	eV	Артқы және алдыңғы байланыс

Жеті қабаттың әрқайсысында қалыңдығының өзгеруін көрсетуге болады (мысалы, композицияның өзгеруін модельдеу. Бұл экстремалды мәндер мен интерполяция функциясын көрсету арқылы жасалады. 1-кестеде бұл параметрлер  $y(x)$  функция ретінде белгіленген. Кестеде  $x$  функцияларымен белгіленген композиция арқылы кейбір параметрлерді өзгерту мүмкіндігі бар. Әр қабаттың арасында зарядты беру үшін немесе рекомбинация орталықтары ретінде жұмыс істеу үшін екіншісінің де ақауларымен бөлу шекарасын бір рет анықтауға болады. SCAPS оптикалық шамаларды қарапайым түрде өңдеуге болады, ол Бер-Ламберттің әлсіреуіне сәйкес жарықтың сіңуін есептейді. Күрделі оптикалық тұрақтылар өңделмегендіктен, кедергі де есептелмейді. Толқын ұзындығына (R-T) байланысты шағылысу алдыңғы және артқы контактілердегі оптикалық сүзгі ретінде қосылуы мүмкін. Сонымен қатар, SCAPS -1D модельдеу құралы болып табылатын шашырау мен кедір-бұдырды нақты қосу мүмкін емес дегенді білдіреді.

Барлық параметрлер SCAPS-те белгілі бір дәрежеде маңызды, бірақ әр параметрдің әсері модельге байланысты болады. SRH рекомбинациясы төмен өнімділігі бар құрылғы үшін сорғыш материалының басым шектеуші факторы болып табылады, радиациялық рекомбинация шамалы болуы мүмкін. Тиімділігі жоғары модельде радиациялық рекомбинацияны елемеу J-V модельдеуде үлкен қателіктерге әкелуі мүмкін, кіріс параметрлерінен басқа кернеудің жұмыс нүктесін, температураны және жарықтандыруды да көрсетуге болады.

#### *Модель құру*

Құрылғы моделін құрудың екі жалпы мақсаты бар:

- 1) нақты құрылғылардың әрекетін тексеру және түсіну
- 2) берілген параметрлердің өзгеруі үшін мінез-құлықты модельдеу осылайша осы параметрлердегі өзгерістердің нәтижесін болжау. көптеген үлгілердің орташа мінез-құлқын немесе эталонды білдіретін құрылғыға тән параметрлермен модельдеуді таңдауға болады. Кез-келген модельде бос (белгісіз) параметрлер неғұрлым көп болса, фитингті орындау оңайырақ болады. Бұл модельді құру кезінде мүмкіндігінше көп параметрлерді, жақсырақ анықтамалық құрылғыдан жиналған эксперименттік мәліметтер негізінде бекітуге басымдық беру керек дегенді білдіреді.

SCAPS J-V, QE, C-V модельдеуді, сонымен қатар кез-келген кіріс параметрін өзгертуге болатын жетілдірілген пакеттік модельдеуді ұсынады. Пакеттік модельдеу арқылы алдын-ала анықталған физикалық параметрлерді, мысалы, электрондардың тиімділігі немесе концентрациясын бақылауға болады. Номиналды түрде, құрылғы моделіндегі J-V және QE модельдеу тиісті анықтамалық өлшемдерге ұқсауы керек.

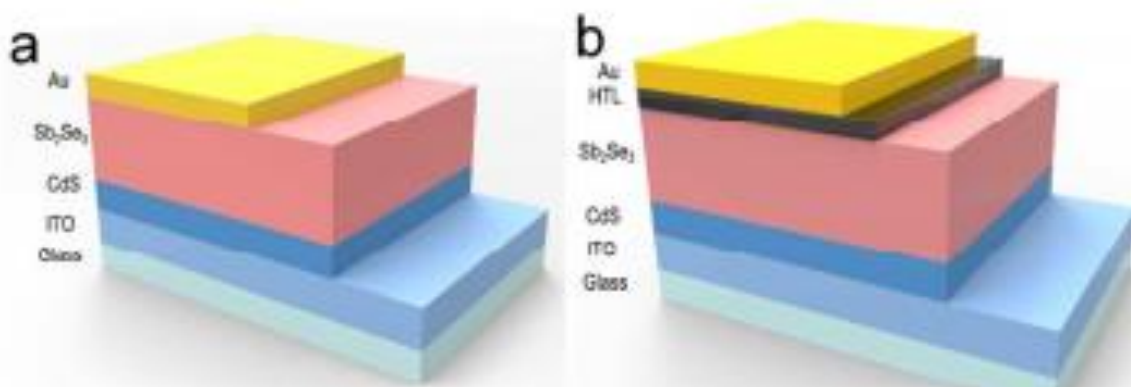
#### *Кванттық тиімділік*

Егер модель алдыңғы шағылысу сүзгісін қолданса, QE SCAPS-те жақсы модельденеді. Оптикалық сүзгілермен QE модельдеудің негізгі мақсаттарының бірі болып табылатын тасымалдаушылардың дұрыс жиынтығын модельдеу оңайырақ болы есептеледі. QE модельдеу негізінен J-V модельдеуімен бірге қолданылды.

#### *Сыйымдылық-кернеу*

C-V модельдеу негізінен балама құрылым үшін жүргізілді. SCAPS негізгі теңдеулерге сәйкес модельдейді, бірақ өлшеу мен модельдеуді оңай салыстыруға болатындай етіп AS және C-V бөлімдерінде көрсетілген жуықтауды қолдана отырып, деректерді ыңғайлы түрде шығарады. Бағдарламада қарастырылып отырған күн элементінің параметрлерін өзгерте отырып, бірнеше қабаттан тұратын, қалыңдықтары әртүрлі дайын күн элементінің моделін

алуға болады. Төменде 1 суретте қабаттарына өзгеріс енгізілген күн батареясының құрылымы көрсетілген.



Сурет 1 -  $Sb_2Se_3$  күн батареясының құрылымы

### Қорытынды

Қорытындылай келе, SCAPS-1D-жартылай өткізгіш құрылғыларды модельдеуге арналған кешендендірілген бағдарлама болып табылады. Бағдарлама негізінде 7 жартылай өткізгіш қабатқа дейін дейін материал құрылымын құрастыруға болады. Нанотехнологиялық зерттеулер барысында улы газдар мен реагенттерді пайдаланбай, SCAPS-1D бағдарламалық кешені негізінде күн элементтерінің құрылымын, эффективтілігін зерттеуге мүмкіндік туғызады.

### Әдебиеттер

1. А. Нимегеерс и М. Бургельман, "Численное моделирование характеристик переменного тока солнечных элементов CdTe и СНГ", в протоколе конференции Двадцать Пятой конференции специалистов по фотоэлектрике IEEE - 1996, 1996, стр. 901-904.
2. С. Деграв, М. Бургельман и П. Ноллет, "Моделирование поликристаллических тонкопленочных солнечных элементов: новые возможности в версии 2.3 SCAPS", на 3-й Всемирной конференции по преобразованию фотоэлектрической энергии, 2003. Труды, 2003, стр.487-490, Том 1.
3. Дж. Вершрейген и М. Бургельман, "Численное моделирование внутриполосного туннелирования для гетеропереходных солнечных элементов в scaps", Тонкие твердые пленки, том 515, стр. 6276-6279, 2007.
4. К. Декок, Дж. Лауверт и М. Бургельман, "Характеристика градуированных солнечных элементов CIGS", Энергетическая процедура, том 2, стр. 49-54, 2010.
5. К. Декок, С. Хелифи и М. Бургельман, "Моделирование многовалентных дефектов в тонкопленочных солнечных элементах", Тонкие твердые пленки, том 519, стр. 7481-7484, 2011.
6. М. Бургельман, К. Декок, С. Хелифи и А. Абасс, "Усовершенствованное электрическое моделирование тонкопленочных солнечных элементов", Тонкие твердые пленки, том 535, стр. 296-301, 2013.
7. К. Декок, П. Заберовский и М. Бургельман, "Моделирование метастабильности в тонкопленочных солнечных элементах на основе халькопирита", Журнал прикладной физики, том 111, стр.043703, 2012.
8. М. Бургельман, П. Нолле и С. Дегрейв, "Моделирование поликристаллических полупроводниковых солнечных элементов", Тонкие твердые пленки, т. 361-362, стр. 527-532, 2000.

### References

1. A. Niemegeers and M. Burgelman, "Numerical modelling of AC-characteristics of CdTe and CIS solar cells," in Conference Record of the Twenty Fifth IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1996, 1996, pp. 901-904.
2. S. Degraeve, M. Burgelman, and P. Nollet, "Modelling of polycrystalline thin film solar cells: new features in SCAPS version 2.3," in 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of, 2003, pp. 487-490 Vol.1.
3. J. Verschraegen and M. Burgelman, "Numerical modeling of intra-band tunneling for heterojunction solar cells in scaps," Thin Solid Films, vol. 515, pp. 6276-6279, 2007.
4. K. Decock, J. Lauwaert, and M. Burgelman, "Characterization of graded CIGS solar cells," Energy Procedia, vol. 2, pp. 49-54, 2010.
5. K. Decock, S. Khelifi, and M. Burgelman, "Modelling multivalent defects in thin film solar cells," Thin Solid Films, vol. 519, pp. 7481-7484, 2011.
6. M. Burgelman, K. Decock, S. Khelifi, and A. Abass, "Advanced electrical simulation of thin film solar cells," Thin Solid Films, vol. 535, pp. 296-301, 2013.
7. K. Decock, P. Zabierowski, and M. Burgelman, "Modeling metastabilities in chalcopyrite-based thin film solar cells," Journal of Applied Physics, vol. 111, p. 043703, 2012.
8. M. Burgelman, P. Nollet, and S. Degraeve, "Modelling polycrystalline semiconductor solar cells," Thin Solid Films, vol. 361-362, pp. 527-532, 2000.

DOI 10.53364/24138614\_2021\_23\_4\_57

УДК 811. 512

Тенбаева А.М., д.фил.н.

Академия гражданской авиации, г.Алматы, РК.

E-mail: [altynai06@list.ru](mailto:altynai06@list.ru)

## АВИАЦИОННАЯ МЕТАФОРА В КОГНИТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

### ТАНЫМДЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДЕГІ АВИАЦИЯЛЫҚ МЕТАФОРА

#### AVIATION METAPHOR IN COGNITIVE RESEARCH

**Аннотация.** Статья посвящена рассмотрению отдельных зарубежных исследований о когнитивной авиационной метафоре. Этот вид метафор входит в общую классификацию научной метафоры. Немаловажно, что также выбор темы определила заинтересованность научного сообщества в исследовании когнитивных метафор в разных областях знания, в том числе в языке науки.

Переносное значение слов в авиационной сфере является одним из значимых способов понимания явлений и предметов. Автор статьи делает акцент на том, что авиационная метафора является необходимым элементом русского и английского языков.

Тенбаева А.М. отмечает особый интерес ученых к функционированию тропа в английском научном языке. Маркируется теоретическая общность функционирования авиационной метафоры в двух языках. Особое внимание уделено продуктивным группам тропа. Особый интерес представляет группа терминов, основанных на параллелях с жизнедеятельностью человека и животным миром. В статье также намечены пути дальнейшего исследования процессов метафоризации.