

Литература

1. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А., Рахимов Р.Х. // Computational nanotechnology. Выпуск №1, -С. 155-167, 2018.
2. Имамов Э.З., Муминов Р.А., Джалалов Т.А., Каримов Х.Н., Эргашев Г. //Узбекский физический журнал. №3. -С. 173 -179, 2019.
3. Имамов Э.З., Муминов Р.А. Джалалов Т.А. Каримов Х.Н. //«Физика полупроводников и микроэлектроника». №4 -С.14-21, 2019.
4. Imamov E.Z., Muminov R.A., Rakhimov R.Kh. //Scientific-technical journal (STJ FerPI, 2020, T.24, №5) –P. 31-36, 2020.
5. Haken H. // Synergetics // Springer. -Berlin-Heidelberg: 1997.
6. Леденцов Н.Н., Устинов В.М., Щукин В.А. и др. Гетеро структуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры. ФТП.1998. Т. 32. №4. -С.385-410.
7. Stancu V., Pentia E., Goldenblum A., Buda M., Iordache G., Botila T. Romanian journal of information science and technology. Vol.10, №1, - P. 53–66, 2007.
8. Раскин А.А., Прокофьева В.К. Технология материалов микро, опто и нано электроники, в двух томах БИНОМ, Лаборатория знаний. –Москва: 2010.
9. Imamov E.Z., Muminov R.A. Rakhimov R.Kh. /Analysis of the efficiency of a solar cell with nano-dimensional hetero transitions. Computational nanotechnology. Выпуск №5, -С.47-56. 2021.
10. Гременок В.Ф., Тиванов М.С., Залесский В.Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. –Минск: Изд. Центр БГУ, 2007, –С.222.
11. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. -М.: «Наука», 1984, -С.280.
12. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент. - М.: «Энергоатомиздат», 1987. –С. 280.
13. Цой Б. Патент в Евразийском патентном ведомстве. EP2405487 A1. 08.30. 2012.
14. Цой Б. Патент во всемирной организации интеллектуальной собственности. №WO 2011/040838 A2 07. 04.2011.

РЕЗЮМЕ

Нано ўлчамли гетеро ўтишли куёш элементининг максимал кувватли самарадорлигини таминаладиган параметрларнинг оптимал нисбати аниқланади. Олинган муносабатлардан келиб чиқадики, нано ўлчамли гетеро ўтишли куёш элементи шундай қурилиши мумкинки, унинг самарадорлигини доим талаб қилинган юқори даражага эга бўлади. Бундай назорат қилинадиган ҳолат техник кремнийдан ясалган тагликда «ўз-ўзини ташкил қилиш» орқали ҳосил қилинган нано ўлчамли p-n ўтишли куёш элементида бўлиши мумкинлиги кўрсатади.

РЕЗЮМЕ

Определены оптимальные соотношения параметров солнечного элемента с нано размерными гетеро переходами обеспечивающие максимальные мощности коэффициентов полезного действия. Из полученных соотношений следует, что солнечный элемент с нано размерными гетеро переходами можно построить таким образом, что его эффективность будет иметь всегда требуемый высокий уровень. Показано, что такая управляемая ситуация возможна применительно к солнечному элементу с нано размерными p-n переходами, созданные в силу явления самоорганизации на подложке из технического кремния.

SUMMARY

The optimal ratios of the parameters of a solar cell with nano-dimensional hetero transitions that provide maximum power efficiency are determined. It follows from the obtained relations that a solar cell with nano-dimensional hetero transitions can be constructed in such a way that its efficiency will always have the required high level. It is shown that such a controlled situation is possible in relation to a solar cell with nano-dimensional p-n transitions created due to the phenomenon of self-organization on a substrate made of technical silicon.

НЕЛОКАЛЬНАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

Х.Исламов – преподаватель

Термезский филиал ТГРУ имени Низами

Таянч сўзлар: тенглама, бир боғламли чекли соҳа, регуляри ечим узлуксиз функциялар, тривиал ечим, Грин функцияси, Фредгольм интеграл тенгламаси.

Ключевые слова: уравнение, односвязная область, регулярные решения, непрерывные функции, тривиальные решения, функция Грина, интегральные уравнения Фредгольма.

Key words: equation, one bounded boundary section, regular solution, continuous functions, trivial solution, Grin function, Fredholm integral equation.

Рассмотрим уравнение

$$\frac{\partial}{\partial x}(u_{xx} + u_{yy}) + c(x, y)u = 0. \quad (1)$$

Пусть D конечная односвязная область ограниченная при $x > 0, y > 0$ точками $A(l, 0)$ и $B(0, h)$ соответственно оси OX и OY .

$$D = \{(x, y): 0 < x < l, 0 < y < h\}.$$

В области D для уравнения (1) исследуем следующую задачу.

Задача. Найти функцию $u(x, y)$ обладающую следующими свойствами:

$$1) u(x, y) \in C^1(\overline{D}) \cap C^3(D);$$

2) Функция $u(x, y)$ является регулярным решением уравнения (1);

3) $u(x, y)$ удовлетворяет краевым условиям:

$$u(0, y) = \varphi_1(y), u(l, y) = \varphi_2(y), 0 \leq y \leq h \quad (2)$$

$$u(x, 0) = \psi_1(x), u(x, h) = \psi_2(x), 0 \leq x \leq l \quad (3)$$

$$u_x(0, y) = \lambda u_2(l, y), \quad (4)$$

где $\varphi_1(y), \varphi_2(y), \psi_1(x), \psi_2(x)$ – заданные непрерывные функции, причём,
 $\varphi_1(0) = \psi_1(0), \varphi_1(h) = \psi_2(0), \varphi_2(h) = \psi_2(l),$
 $\psi_1(0) = \lambda \psi_1(l), \psi_2(0) = \lambda \psi_2(l).$

Теорема 1.: Если выполнены условия

$C(x, y) \leq 0, \quad \lambda < 1$, тогда в области D существует единственное решение задачи (1)–(4). [1]

Доказательство: Пусть задача (1)–(4) имеет два решения $u_1(x, y)$ и $u_2(x, y)$. Тогда

$$u(x, y) = u_1(x, y) - u_2(x, y).$$

$f(x, y) \equiv 0, \quad \varphi_i(y) = \psi_i(x) = 0 \quad (i=1,2).$ Тогда уравнения (1) удовлетворяет тривиальные граничные условия

$$u(0, y) = 0, \quad u(l, y) = 0 \quad (5)$$

$$u(x, 0) = 0, \quad u(x, h) = 0, \quad u_x(0, y) = \lambda u_x(l, y) \quad (6)$$

Задача (1)–(6) имеет $u = 0$ тривиальные решения. Умножим уравнения (1) на $u(x, y)$ интегрируя в области D получим [2].

$$\iint_D u \frac{\partial}{\partial x} (u_{xx} + u_{yy}) dx dy + \iint_D c(x, y) u^2 dx dy = 0 \quad (7)$$

Преобразуем первый интеграл в виде

$$\frac{\partial}{\partial x} (u_{xx} + u_{yy}) = \frac{\partial}{\partial x} (yu_{xx} + xu_{yy}) - yu_{xx} - xu_{yy} = \frac{\partial}{\partial x} (yu_{xx} + xu_{yy}) - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} (u_x)^2 + \frac{\partial}{\partial x} (u_x u_y) - \frac{\partial}{\partial y} (u_y)^2 \right)$$

Из этого равенство можно (7) записать в виде

$$\iint_D \frac{\partial}{\partial x} (u_{xx} + u_{yy}) dx dy = \frac{1}{2} \iint_D \left(\frac{\partial}{\partial x} (u_x)^2 + \frac{\partial}{\partial x} (u_x u_y) - \frac{\partial}{\partial y} (u_y)^2 \right) dx dy + \iint_D c(x, y) u^2 dx dy = 0 \quad (8)$$

Интегрируя интеграл (8) в области D получим

$$-\frac{1}{2} \int_0^h [(u_x(l, y))^2 - (u_x(0, y))^2] dy + \iint_D c(x, y) u^2 dx dy = 0 \quad (9)$$

Используем из условия (4)

$$u_x^2(l, y) - u_x^2(0, y) = u_x^2(l, y)(1 - \lambda^2) \quad (10)$$

Тогда (9) из равенство (10) имеет вид

$$\frac{1}{2} \int_0^h (1 - \lambda^2) u_x^2(l, y) dy - \iint_D c(x, y) u^2 dx dy = 0 \quad (11)$$

Из равенство (11) и условия теорема 1 вытекает $u(x, y) \equiv 0$ так как $u_1(x, y) = u_2(x, y)$, $\forall (x, y) \in D$. теорема доказано.

Теорема. Если $u(x, y) = 0$, $\lambda < 1$ следующие условия: $\psi_1(x), \psi_2(x) \in C^1[0, l]$ и $\varphi_1(y), \varphi_2(y) \in C^1[0, h]$ выполняются, то существует регулярное решение задачи (1)–(4).

Докажем существование решения нелокальной задачи (1)–(4).

Обозначим производную по x $u_x(x, y)$ неизвестной функции $u(x, y)$ при $x = l$ через $\varphi(y)$.

Тогда в уравнении (1), обозначим $u_x = \vartheta(x, y)$, и берем для уравнения Лапласа следующую задачу:

$$\Delta u = -c(x, y)u, \quad (5)$$

$$\vartheta(x, y) = -\lambda \varphi(y) \cdot \vartheta(l, y) = \varphi(y), \quad 0 \leq y \leq h \quad (6)$$

$$\vartheta(x, 0) = \psi_1(x), \vartheta(x, h) = \psi_2(x), \quad 0 \leq x \leq l. \quad (7)$$

Для решения задачи (5)–(7) требуем, что, функция $\varphi(y)$ удовлетворяла следующие равенства:

$$\begin{aligned} -\lambda \varphi(0) &= \psi_1(0), & \varphi(h) &= \psi_2(l) \\ -\lambda \varphi(h) &= \psi_2(0), & \varphi(0) &= \psi_1(l). \end{aligned}$$

Таким образом задача (1) – (4) с помощью преобразования $u_x = \vartheta(x, y)$ приведена к задаче (5) – (7).

Регулярное решение задачи (5) – (7) в прямоугольной области D с помощью функции Грина выражается следующим образом:

$$\vartheta(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^h \left[\frac{\partial G(x, y; l, \eta)}{\partial \xi} - \lambda \frac{\partial D(x, y; 0, \eta)}{\partial \xi} \right] \varphi(\eta) d\eta - \frac{1}{2\pi} \iint_D G(x, y; \xi, \eta) c(\xi, \eta) u(\xi, \eta) d\xi d\eta + f(x, y) \quad (8)$$

Здесь $G(x, y; \xi, \eta)$ функция Грина для уравнения Лапласа в задаче Дирихле в прямоугольной области D.

$$G(x, y; \xi, \eta) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} + g(x, y; \xi, \eta),$$

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^l \frac{\partial G(x, y; \xi, \eta)}{\partial \eta} \psi_1(\xi) d\xi - \frac{1}{2\pi} \int_0^l \frac{\partial G(x, y; \xi, \eta)}{\partial \eta} \psi_2(\xi) d\xi.$$

Теперь в области D решаем следующую задачу:

$$u_x = \vartheta(x, y), \quad \forall (x, y) \in D \quad (9)$$

$$u(0, y) = \varphi_1(y), \quad 0 \leq y \leq h. \quad (10)$$

Решение уравнения (9) удовлетворяющий условию (10) имеет следующий вид:

$$u(x, y) = \int_0^x \vartheta(t, y) dt + \varphi_1(y). \quad (11)$$

Вставляя выражение (8) в (11) получим [1]:

$$\vartheta(x, y) = \int_0^x \left(\frac{1}{2\pi} \left(\int_0^h \left[\frac{\partial G(x, y; l, \eta)}{\partial \xi} - \lambda \frac{\partial D(x, y; 0, \eta)}{\partial \xi} \right] \varphi(\eta) d\eta \right) dt - \int_0^x \left(\frac{1}{2\pi} \iint_D G(t, y; \xi, \eta) c(\xi, \eta) u(\xi, \eta) d\xi d\eta \right) dt + \int_0^x f(t, y) dt + \varphi_1(y) \right) dt \quad (12)$$

Изменяя порядок интегрирования в правой части в последней формуле для $u(x, y)$ получим следующее интегральное уравнение:

$$u(x, y) + \iint_D \left(\frac{1}{2\pi} K(x, y; \xi, \eta) \right) u(\xi, \eta) d\xi d\eta = f_1(x, y). \quad (13)$$

Здесь $K(x, y; \xi, \eta) = \int_0^x G(t, y; \xi, \eta) c(\xi, \eta) dt$,

$$f_1(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^h k(x, y; \eta) \varphi(\eta) d\eta + \int_0^x f(t, y) dt + \vartheta(x, 0) + \varphi_1(y), \quad (14)$$

$$k(x, y; \eta) = \int_0^x \left[\frac{\partial G(t, y; l, \eta)}{\partial \xi} - \frac{\partial G(x, y; 0, \eta)}{\partial \xi} \right] dt.$$

Интегральное уравнение (13) является уравнением Фредгольма второго порядка [2].

Его ядро $K(x, y; \xi, \eta)$ и правая часть $f_1(x, y)$ по свойству функции Грина и заданных функций непрерывна и принадлежит классу $C^1(\bar{D})$ т.е.

$$|K(x, y; \xi, \eta)| \leq \int_0^x |G(t, y; \xi, \eta) c(\xi, \eta)| dt \leq c \int_0^x \left| \ln \frac{1}{(t-\xi)^2 + (y-\eta)^2} \right| dt \leq c_1 (y-\eta)^2 \ln |(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2| +$$

$$c_2 |k(x, y; \eta)| \leq \int_0^x \left| \frac{\partial G(t, y; l, \eta)}{\partial \xi} - \frac{\partial G(x, y; 0, \eta)}{\partial \xi} \right| dt \leq \ln |(x-l)^2 + (y-\eta)^2| + \lambda \ln |(x)^2 + (y-\eta)^2| + k_0(x, y; \eta).$$

Функция $k_0(x, y; \eta)$ при $x = 0, x = l$ и $y = \eta$ непрерывна и ограничена. Производные $\frac{\partial k_0(x, y; \eta)}{\partial x}, \frac{\partial k_0(x, y; \eta)}{\partial y}$ непрерывны при $x \neq 0, x \neq l$ и $y \neq \eta$, а также $\left| \frac{\partial k_0(x, y; \eta)}{\partial x} \right| \leq \frac{c_3}{r}$ при $x \rightarrow 0, x \rightarrow l, y \rightarrow \eta$ $\left| \frac{\partial k_0(x, y; \eta)}{\partial y} \right| \leq \frac{c_4}{r}$,

здесь $r^2 = (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2$; $c_i = \text{const} > 0, i = \overline{1, 4}$.

Решение интегрального уравнения Фредгольма второго порядка (13) имеет вид:

$$u(x, y) = f_1(x, y) + \frac{1}{2\pi} \iint_D R(x, y; \xi, \eta) f_1(\xi, \eta) d\xi d\eta. \quad (15)$$

После некоторых преобразований имеем:

$$u(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^h \left[k(x, y; \eta_1) + \frac{1}{2\pi} \iint_D R(x, y; \xi, \eta) k(\xi, \eta; \eta_1) d\xi d\eta \right] \varphi(\eta) d\eta + f_2(x, y). \quad (16)$$

Здесь $f_2(x, y) = \int_0^x f(t, y) dt + \varphi_1(y) + \frac{1}{2\pi} \iint_D R(x, y; \xi, \eta) \left[\int_0^\xi f(x, y) dt + \varphi_1(y) \right] d\xi d\eta$.

Теперь из формулы (16) определим функцию $\varphi(y)$. Для этого берем производную из (16) по x и при $x = l$ приравниваем функцию $\varphi(y)$.

$$\varphi(y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^h k_1(y, \eta) \varphi(\eta) d\eta + f_3(y), \quad 0 \leq y \leq h. \quad (17)$$

Здесь $f_3(y) = \frac{\partial}{\partial x} f_2(x, y)|_{x=l}$, $k_1(y, \eta) = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(x, y; \eta) + \frac{1}{2\pi} \iint_D R(x, y; \xi, \eta) k(\xi, \eta; \eta) d\xi d\eta \right]|_{x=l}$.

По теории интегральных уравнений Фредгольма решение $\varphi(y)$ уравнения (15) существует в области $C[0, h]$ и резольвента ядра $k_1(y, \eta)$ выражается следующим образом [3]

$$\varphi(y) = f_3(y) + \frac{1}{2\pi} \int_0^h R_1(y, \eta) f_3(\eta) d\eta.$$

Таким образом, решение задачи (1) – (4) выражается формулой (16), а функция $\varphi(y)$ является решением интегрального уравнения (17).

Литература

1. Бицадзе А.В. Краевые задачи для уравнения эллиптического типа второго порядка. – Москва: «Наука», 1966. – С.204.
2. Смирнов М.М. Уравнения смешанного типа. – Москва: «Высшая школа», 1985.
3. Салохиддинов М. Интеграл тенглалар. – Тошкент: 2007, - С.180.

РЕЗЮМЕ

Маколада тўғри тўртбурчакли соҳада қўйилган чегаравий масаланинг ечими мавжудлиги ва ягоналиги исботланган.

РЕЗЮМЕ

В статье доказано существование и единственность решения краевой задачи, поставленной в правом прямоугольном поле.

SUMMARY

The article proves the existence and uniqueness of the solution of the boundary value problem posed in a right rectangular field.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

К.А.Исмаилов – доктор физико-математических наук, профессор

З.Т.Кенжаев – базовый докторант

С.Г.Яхшимов – магистрант

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Ш.З.Олламбергенов – магистрант

Ташкентский государственный технический университет

Таянч сўзлар: кремний, куёш элементи эффективлиги, никель кластерлари, геттерлаш, яшаш вақти.

Ключевые слова: кремний, эффективность солнечного элемента, кластеры никеля, геттерирование, время жизни.

Key words: silicon, solar cell efficiency, nickel clusters, gettering, lifetime.

Введение. Качество монокристаллов кремния для солнечных элементов определяется величиной времени жизни неосновных носителей заряда (τ). В процессе изготовления фотоэлементов τ может уменьшиться из-за активизации неконтролируемой (фоновых) примесных атомов переходных металлов (Fe, Cu и др.) [1].

Для увеличения КПД СЭ необходимо увеличивать время жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ) и уменьшать вторичные потери (в первую очередь последовательное сопротивление эмиттерной области).

Поэтому увеличение времени жизни неравновесных носителей заряда является главным критерием оптимизации технологии фотоэлементов [2-3].

Основной способ увеличения времени жизни в структурах СЭ это геттерирование. Геттерирование примесных атомов, позволяет не только повысить время жизни ННЗ, но также обеспечивает стабильность электрических и рекомбинационных параметров материала, который многократно подвергается термообработке в процессе изготовления СЭ [4].