

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

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].

Известно [5] никель в кремнии имеет достаточно высокую объемную растворимость ($n \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$), а в приповерхностной области ($d=2-3 \text{ мкм}$), его концентрация может достигать $n_s \sim 10^{20} - 10^{21} \text{ см}^{-3}$. Основная часть растворенных атомов – 99,999%, а в приповерхностной области еще больше, находятся в электронейтральном состоянии в междоузлиях, и при определенных условиях термообработки могут формировать кластеры [6]. Кластеры никеля легко образуются как в процессе диффузии, так и при дальнейшей термообработке, но они практически не влияют на электрические параметры материала. Размеры, концентрация, структура и состав кластеров в основном определяются температурой дополнительного отжига и общей концентрацией введенных в кремний атомов никеля. Кроме того, известно, что пленки никеля, нанесенные на кремний, имеют хорошие геттеризирующие свойства [7].

В данной статье анализируются эффективность геттерирования неконтролируемых примесных атомов кластерами атомов никеля и влияние на параметры СЭ.

Технология и метод исследования. Для исходного материала использовались монокристаллических кремниевых пластин p -типа с удельным сопротивлением 0.5 Ом·см (КДБ-0.5), толщиной 380 мкм и диаметром $d \sim 76 \text{ мм}$ выращенные с методом Чохральский. Затем создались две разных группы. Из них I группа - контроль, II группа - в вакууме напылялся тонкий слой чистого никеля толщиной 1 мкм для диффузии на лицевой стороне. Диффузии примесных атомов никеля проводилась при $T_{\text{дифф}} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $t = 10 \text{ мин}$.

После диффузии никеля, для получения p - n -перехода проводилась диффузии фосфора при $T_{\text{дифф}} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $t = 0.5 \text{ час}$.

После диффузии все образцы проходили дополнительный термоотжиг при $T_{\text{отж}} = 750 - 800 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $t = 30 \text{ мин}$ с целью активации процесса геттерирования [8] неконтролируемых рекомбинационных примесей. После диффузии и термоотжига все образцы охлаждались на воздухе.

После каждого технологического этапа проводилась очистка поверхности и химическая обработка, чтобы снять остатки никеля и оксид кремния с поверхности (HCl, HF).

Затем напылением никеля создавались омические контакты. Просветляющее покрытие на поверхности элементов отсутствовало. После этого измерялись вольт-амперная характеристика (ВАХ) и времени жизни ННЗ в полученных СЭ.

Полученные результаты и их обсуждение В таблице 1 представлены средние значения параметров СЭ каждой группы образцов, полученных при температурах диффузии никеля $T_{\text{диф}} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 1. Средние значения параметров СЭ, полученных при температурах диффузии никеля $T_{\text{диф}} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Группа	I (Контроль)	II
$J_{\text{кз}}$, мА/см^2	32	36
$U_{\text{хх}}$, мВ	590	595
ξ	0.640	0.68
P_{max} , мВт/см^2	12.083	14.565
τ , мкс	10-14	18-20
$\Delta P_{\text{max}}/P_{\text{Imax}}$	-	20.54 %

Примечания: $J_{\text{кз}}$ - плотность тока короткого замыкания, $U_{\text{хх}}$ - напряжение холостого хода, ξ - коэффициент заполнения ВАХ, P_{max} - максимальная отдаваемая мощность, $\Delta P_{\text{max}}/P_{\text{Imax}}$ - относительное изменение максимальной мощности по сравнению с контролем

Как видно из таблицы, в образцах II группы наблюдается достаточно заметное улучшение параметров. При этом среднее значение P_{max} по отношению к контролю (I группе) увеличивается на 20.54 %.

Полученные данные позволят утверждать, что дополнительное легирование примесными атомами никеля приводит к улучшению эффективности СЭ.

Видно, что время жизни ННЗ контрольного СЭ составляет $\tau = 10-14 \text{ мкс}$, это соответствует типовым значениям времени жизни для таких структур [9-10]. В группе II τ увеличивается почти в 2 раза. Это позволяет утверждать, что:

- легирование примесными атомами никеля приводит к увеличению времени жизни ННЗ τ в базе СЭ;
- формирование обогащенной никелем области в лицевом слое дополнительно улучшает τ СЭ.

Обсуждение результатов. Рост параметры ($J_{\text{кз}}$, $U_{\text{хх}}$, τ) СЭ мы связываем с формированием кластеров атомов никеля, находящихся в межузельных состоянии кремния и наличием у них геттеризирующих свойств. В приповерхностных слоях концентрация никеля на $2.5 \div 3$ порядка больше, чем в объеме кристалла. Центрами образования кластеров никеля служат атомы кислорода и другие дефекты решетки кремния, в большом количестве находящиеся вблизи поверхности, а также образующиеся в диффузионном слое n -типа.

Коэффициент заполнения ВАХ фотоэлементов II группы диффузии никеля вырос относительно I группы. Такой рост мы связываем с уменьшением слоевого сопротивления поверхностных слоев эмиттера солнечного элемента за счет формирования кластеров атомов никеля или силицидов. Прямое измерение поверхностного сопротивления эмиттера (n -слоя) образцов, легированных никелем ($\rho_{\text{нов}} = 1.8 \text{ Ом/}\square$) показывает его уменьшение на 17 % по сравнению с контролем ($\rho_{\text{нов}} = 2.1 \text{ Ом/}\square$), что примерно соответствует росту коэффициента заполнения.

Для проверки наличия силицидных пленок исследовался элементный состав лицевой поверхности образцов II группы в сканирующем электронном микроскопе - EVO MA 10, в режиме рентгеновского микроанализа (рис. 2).

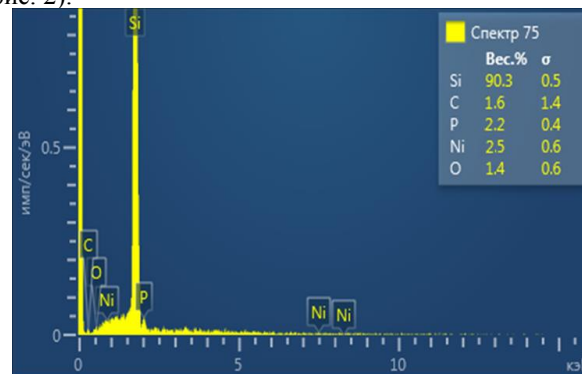


Рис. 2. Морфология и элементный состав лицевой поверхности СЭ после термоотжига

Как показали результаты исследования, лицевая поверхность СЭ состоит из атомов кремния - 90.92 %, никеля - 1.01 %, фосфора - 1.96, кислорода - 2.44. То есть, можно утверждать, на поверхности отсутствует силицид никеля и оксиды.

Все полученные данные позволяет считать, что легирование никелем увеличивает время жизни ННЗ в базе СЭ, увеличивая коэффициент полезного действия.

На основе полученных результатов можно утверждать, что введение атомов никеля, является эффективным методом геттерирования рекомбинационных центров в кремнии.

Из всех существующих методов геттерирования, неконтролируемых примесных атомов в кремнии, геттерирования никель является наиболее эффективно, технологично, дешевле, в результате получено которые практическое не происходит изменение энергетическая параметры самого кремния.

Заклучение Таким образом, легирование никелем дает новые возможности для создания кремниевых фотоэлементов с повышенной эффективностью за счет увеличения основные параметры СЭ, увеличения времени жизни неравновесных носителей.

Также, следует утверждать, что легирования кремния с никелем не только позволяет повышение КПД СЭ, но такое метод может быть широко использовать практические во всех электронных приборов на основе кремния.

Литература

1. Чистохин И. Б., Фрицлер К.Б. Письма в ЖТФ, 46 (21), 11 2020.
2. Панайотти И.Е., Теруков Е.И., Шахрай И.С. Письма в ЖТФ. 46 (17), 3 2020.
3. Фукс Б.И. *ФТП*, 48 (12), 1704. 2014.
4. Papakonstantinou P., Somasundram K., Cao W.A., Nevin J. *Electrochem. –Soci*: 148 (2), 36 2001.
5. Ismayilov K.A., Kenzhaev Z.T., Isamov S.B., Koveshnikov S.V. *Karakalpak Scientific Journal*, Vol. 3: Iss. 1, Article 6. 2020.
6. Bakhadyrkhanov M.K., Ismaylov B.K., Tachilin S.A., Ismailov K.A., Zikrillayev N.F. *SPQEO*, 23 (4), 361, 2020.
7. Астащенко А.С., Бринкевич Д.И., Петров В.В. Доклады БГУИР. 8 (38), 37. 2018.
8. Bakhadyrkhanov M.K., Isamov S.B., Kenzhaev Z.T., Melebaev D., Zikrillayev Kh.F., Ikhtiyarova G.A. *Appl. Solar Energy*. 56 (1), 13. 2020.
9. Aissa B., Kivambe M.M., Hossain M.I., Daif O.El., Abdallah A. A., Ali F., Tabet N., *Front Nanosci Nanotech*, 1(1), 2. 2012.
10. Sun Ch., Rougieux F. E., Macdonald D., *J. Appl. Phys.* 115, 214907. 2014.

РЕЗЮМЕ

Мақолада кремнийга никель диффузияси, айнан, кремний юзасига яқин соҳада бойитилган никель катлами ҳосил қилиниши, рекомбинация марказларини камайитиришнинг самарали усули эканлиги ва фотоэлемент самарадорлигини ошириши эксперименталь кўрсатилган.

РЕЗЮМЕ

Экспериментально показано, что диффузии никеля, которого формированного обогащенного слоя никеля в приповерхностной области кремния, является эффективным методом геттерирования рекомбинационных центров в кремнии и увеличивает эффективности фотоэлемента.

SUMMARY

It has been shown experimentally that the diffusion of nickel, which is formed by an enriched nickel layer in the near-surface region of silicon, is an effective method for gettering recombination centers in silicon and increases the efficiency of the photocell.

UDK 543.381:547.412.721.2

AVTOMOBIL BENZINININ OKTAN SANIN ASIRIWDA ANTIDETONACIYALIQ QOSIMSHALARDIN ONIMDARLIGINI SALISTIRIW

M.J.Maxmudov - ximiya ilimlerinin doktori, dotsent

Buxara injenerlik - texnologiya instituti

S.O.Svaykosov – assistent oqitwshi

Berdaq atindagi Qaraqalpaq mamleketlik universiteti

Tayanch so'zlar: benzin, oksigenatlar, annizol, atseton, MTBE, oqtan soni, antidetonatsion xossa.

Ключевые слова: бензин, оксигенаты, аннизол, ацетон, МТБЭ, октановое число, антидетонационные свойства.

Key words: gasoline, oxygenates, anisole, acetone, MTBE, octane number, antiknock properties.

Kirisiw Neft ham gaz onimlerine bolgan talaplardin keskin artip bariw, dunyada turli saldamli ekologiyaliq mashqalalardin kelip shigwina sebep bolip atr. Usini esapqa algan halda, O'zbekistan Respublikasinda neft onimlerinin sapasin jaqsilaw ham jergilikli shiyki zatlar ham de texnologiyalar tiykarinda ekologiyaliq taza neft onimlerin islep shigariwga ulken itibar qaratilip atr.

Tiykargi bolim. Atirap - ortalıqtı ximiyaliq zaharleniwini tiykargi bolegi ishki janıw dvigatellerden (IJD) shıgıp atırğan gazlar ulesine tuwrı keledi. Dvigatel cilindrlerinde baratuğın fizikalıq - mexanikalıq procesler esabına, quramında 200 den artıq zaharli komponentlerden quralgan, quramalı quramalı shıgındılar dvigatellerden ajıralıp shıgadı [1-2]. Tomen degi kestede dizel ham benzin dvigatellerinen shıgatuğın zaharli gazlardin quramı keltirilgen [3].

Usi joqaridagi komponentlerden uglerod oksidin alatuğın bolsaq, olar gemoglobinge uqsas qasiyetlerdi korsetkenligi sebepli, hatte onsha joqari bolmagan parcial basım astında da, karboksigemoglobin (HbCO) sıyaqlı birikpeler payda etedi. HbCO dissociaciyası oksigemoglobinge (HbO₂) salıstırğanda 3600 ret astenirek baradı. Bunda gipoksemiyanı payda bolıwı ham metallardin organizmge kislorod otkiziwsheñligin paseytedi. Sonın menen birgelikte, tomen koncentraciyadagi uglerod oksidiniń turaqlı bolıwı, kóriw agzalariniń jaqtılıq ham renlerge sezgirliginiń tomenlewine, bas mıydağı ózgerislerge, malım waqıt aralığında psixikalıq reakciyalardıń buzılıwına, eritrocitoz, poliglobuliya sıyaqlı qan quramınıń morfologiyalıq korsetkishleriniń ózgeriwine alıp keledi. Uglerod oksidiniń turaqlı tásiiri insanlarda bas awırıwı, bas aylanıwı, tez sharshap qalıw, emocional turaqsızlıq, júrektegi hár qıylı awırıwları payda etedi [4-5].

Keste 1. Avtomobilniń zaharli gazlariniń quramı

Komponentler	Muğdarı, %	
	Benzin dvigatel	Dizel dvigatel
Azot	74-77	76-78
Kislorod	0, 3-8, 0	2-18
Suw puwı	3, 0-5, 5	0,5-4,0
Uglerod dioksidi	5, 0-12, 0	1,0-10,0
Uglerod oksidi	5, 0-12	0,01-0,5
Azot oksidleri	0, 0-0, 8	0,0009-0,5
Nokancerogen uglevodorodlar	0, 2-3, 0	0,009-0,5
Aldegidler	0, 0-0, 2	0,001-0,009
Saja	0, 0-0, 4 gr/m ³	0,01-1,1 gr/m ³
Benz(a)piren	10-20 mkg/m ³ qa shekem	10 mkg/m ³ qa shekem

Joqaridagılar menen birgelikte, benzin quramında benzol da insan organları ushın hár qıylı qawiplerdi tuwdıradı. Joqarı koncentraciyadagi benzol tásirinde, insannıń bas mıyne ulken tásir korsetedi, bir neshe ese tomen koncentraciyadagi benzol tásirinde bolsa birinshi bolıp qan ham qan aylanıwshı organlar jabirlenedi. Benzoldıń qandağı tásiiri myde onıń toplanıwına, nuklein kislotası sinteziniń buzılıwına, tiykargi kletkalardıń ziyanlanıwına, olardıń xromosomalı dúzilisiniń buzılıwına ham soğan uqsas bir qatar tásirlerge alıp keledi. Avtomobil benzini quramında benzol koncentraciyasın jáne onıń barlıq janbay qalğan onıń tuwındıları – zaharli gazler, janılğı sistemasındağı puwlanıwırlardan ajıralıwshı elementler ham janılğı quyıwdağı puwlanıwlar sıyaqlı quramında benzol sarplağan komponentler arasında sızıqlı baylanıslılıq bar. Janılğı quramında benzol muğdarınıń hár 1 % asıwı, zaharli gazler quramında onıń 0,7-0,8 % artıwına alıp keledi [6].