

10,0% практически мало влияет на продолжительность полного затвердевания расплава дефолианта хлората натрия, содержащего 1-3% ПАВ, а последующее увеличение содержания влаги отрицательно влияет на продолжительность кристаллизации расплава дефолианта. При этом расплав дефолианта с содержанием 1-3% ПАВ и 7-10% влаги полностью затвердевает в течение 25,1-28,2сек. Процесс становится не технологичным, так как при принятом режиме работы барабан кристаллизатора не справляется и продукт не успевает за кристаллизатора не справляется и продукт не успевает закристаллизоваться (2,0 об/мин при -13+ -18⁰C).

Таблица 1. Температура начала кристаллизации и продолжительность затвердевания дефолианта хлората натрия в зависимости от содержания ПАВ и остаточной влаги

№	Содержание ПАВ, %	Остаточная влага, %	Температура нач. крист., ⁰ C	Время затвердевания расплава дефолианта (-13+-18 ⁰ C)сек
1	-	-	38	18,1
2	1,0	-	43,4	21,4
3	1,0	1,0	41,3	22,2
4	1,0	3,0	41,0	23,4
5	1,0	5,0	42,5	24,2
6	1,0	7,0	41,1	25,1
7	1,0	10,0	39,5	27,6
8	2,0	-	43,3	24,1
9	2,0	1,0	42,2	25,3
10	2,0	3,0	41,4	26,5

11	2,0	5,0	40,0	27,6
12	2,0	7,0	39,5	28,1
13	2,0	10,0	37,1	28,8
14	3,0	-	45,2	26,5
15	3,0	1,0	43,1	27,4
16	3,0	3,0	42,2	28,3
17	3,0	5,0	40,3	28,8
18	3,0	7,0	37,9	28,2
19	3,0	10,0	35,2	26,4

Поэтому нецелесообразно, чтобы содержание остаточной влаги в продукте превышало 7,0%. Расплав дефолианта, содержащего 2-3% ПАВ и 7,0% влаги закристаллизовывается в течение 25,1-28,2 секунды, что вполне согласуется с режимом работы барабанного кристаллизатора в производственных условиях. В связи с этим оптимальным количеством добавки ПАВ и влаги в дефолиантах хлората натрия являются 2-3 и 7,0%, соответственно.

Таким образом, для разработки технологии получения дефолианта с ПАВ были изучены взаимосвязи с температурой, количеством ПАВ, влажностью и временем реакции. Эти технологические исследования показали, что самыми приемлемыми условиями являются: температура 105-115⁰C, количество добавляемого ПАВ -2-3%, а также время отведенное, для осушки воды до 7-10% и время 20-40 минут. На основе полученных данных можно заключить, что для оптимальной работы барабанного кристаллизатора необходимо, чтобы в составе хлората натрия с ПАВ доля влаги должна составлять 7-10% ,ПАВ -2-3%, температура начала кристаллизации должна быть равна 35,2-39,5⁰C, а время затвердевания расплава дефолианта = 25,1-28,2сек .

Литература

1. Умиров Ф.Э., Закиров Б.С., Номозова Г.Р., Худойбердиев Ф.И. Исследование процесса получения дефолианта трикарбамидохлората натрия, содержащих поверхностно-активные вещества. Наманган давлат университети илмий ахборотномаси. –Наманган: 2019, № 3. -С.46-49.
2. Умиров Ф.Э., Намозова Г.Р., Бегманов С.Н., Сайфуллаева Н.Исследование процесса получения дефолианта хлората натрия, содержащего поверхностно - активные вещества “Замонавий ишлаб чиқаришининг муҳандислик ва технологик муаммоларини инновацион ечимлари” мавзусидаги халқаро илмий –амалий анжуман 2019 йил 14-16 ноябрь. – Бухоро: II том 29-32-б.
3. Умиров Ф.Э., Худойбердиев Ф.И., Номозова Г.Р., Ёўлдошова М.Б., Сайфуллоева Н.Ф. Чикиндилардан натрий хлорат олиш. “Зарафшон воҳасини комплекс инновацион ривожлантириш ютуқлари, муаммолари ва истикболлари” мавзусидаги халқаро илмий –амалий анжуман 2019 йил 27-28 ноябрь. Навоий 428-430-б.

РЕЗЮМЕ

Мақолада сирт фаол моддалар воситасида дефолиант олиш технологиясини ишлаб чиқиш ва каустик сода чиқиндиларидан натрий гипохлорит асосида натрий хлорат олиш жараёни, шунингдек ҳарорат, сирт фаол моддалар миқдори, намлик ва реакция вақти билан боғлиқлик ўрганилган.

РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются разработка технологии получения дефолианта с поверхностно-активным веществом и рассмотрен процесс получения хлората натрия на основе гипохлорита натрия из отходов каустической соды, также изучены взаимосвязи с температурой, количеством поверхностно-активным веществом, влажностью и временем реакции.

SUMMARY

The article discusses the development of a technology for producing a defoliant with a surfactant and discusses the process of producing sodium chlorate based on sodium hypochlorite from waste caustic soda, and also studies the relationships with temperature, amount of surfactant, humidity and reaction time.

Fizika. Matematika

УДК 517.957

ИНТЕГРИРОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ КОРТЕВЕГА-ДЕ ФРИЗА С НАГРУЖЕННЫМИ ЧЛЕНАМИ

Т.Ж.Алланазарова – ассистент преподаватель

Қарақалпақский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: кортевега-де Фриза тенгламалари, штурм-Лиувилл оператори, тескари спектрал масала, Дубровин тенгламалари тизими, нухсалар формулалари.

Ключевые слова: уравнения Кортевега-де Фриза, оператор Штурма-Лиувилля, обратная спектральная задача, система уравнений Дубровина, формулы следов.

Key words: Korteweg-de Vries equation, Sturm-Liouville operator, inverse spectral problem, system of Dubravina equation, trace formulas.

Обратные спектральные задачи играют значительную роль при интегрировании некоторых важных эволюционных уравнений математической физики. Важный прорыв был сделан в октябре 1967 года с появлением

статьи Гарднера, Грина, Крускала и Миуры [1], где было показано, что уравнение Кортевега-де Фриза (КдФ) $q_t = 6qq_x - q_{xxx}$, $q(x, 0) = q_0(x)$, $x \in R$, $t > 0$,

можно представить как условие совместности двух линейных дифференциальных уравнений, одно из которых оказалось уравнением Штурма - Лиувилля

$$L\psi \equiv -\psi''(x, k, t) + q(x, t)\psi(x, k, t) = k^2\psi(x, k, t), \quad x \in R.$$

Было отмечено, что если потенциал в этом уравнении меняется во времени согласно КдФ, то ψ удовлетворяет ещё одному линейному уравнению, а именно

$$\psi_t = -4\psi_{xxx}''' + 6q\psi_x' + 3q_x\psi.$$

Данное обстоятельство позволило авторам [1] предложить процедуру построения точных решений уравнения КдФ сведением ее к обратной задаче теории рассеяния. Обратная задача теории рассеяния для оператора Штурма-Лиувилля на всей прямой изучалась в работах Фаддеева [2], Марченко [3], Левитана [4] и др. В статье [5] Лакс показал универсальность метода обратной задачи рассеяния (МОЗР) и обобщил уравнение КдФ, вводя понятие высшего уравнения КдФ. В этом направлении следующий важный результат был получен Захаровым и Шабатом [6]. Им удалось интегрировать нелинейное уравнение Шрёдингера (НУШ):

$$iu_t \pm 2u|u|^2 + u_{xx} = 0.$$

Вскоре Вадати [7], опираясь на идеи работы [6], предложил метод решения модифицированного уравнения КдФ (мКдФ):

$$u_t \pm 6u^2u_x + u_{xxx} = 0.$$

Захаров, Тахтаджян, Фаддеева [8], а также Абловиц, Кауп, Ньюэлл и Сигур [9] показали, что МОЗР также можно применить и к решению уравнения синус-Гордона:

$$u_{xt} = \sin u.$$

Применение МОЗР к уравнениям НУШ, мКдФ и синус-Гордон опирается на задачу рассеяния для оператора Дирака на всей оси:

$$L \equiv i \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} & -q(x) \\ r(x) & -\frac{d}{dx} \end{pmatrix}, \quad x \in R.$$

Хорошо известно, что интегрирование нелинейного эволюционного уравнения в классе периодических функций, существенно зависит от количества нетривиальных лакун в спектре периодического оператора Штурма-Лиувилля и Дирака.

С помощью метода обратной задачи для оператора Штурма-Лиувилля с периодическим потенциалом, когда в спектре имеется только конечное число нетривиальных лакун в работах Итса, Матвеева [10] и Дубровина, Новикова [11] была доказана полная интегрируемость уравнения КдФ в классе конечнозонных периодических и квазипериодических функций. В работах [12] и [13] с помощью МОЗР для оператора Дирака была установлена полная интегрируемость нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ) и модифицированного уравнения Кортевега-де Фриза (мКдФ) в классе конечнозонных функций.

Рассмотрим модифицированные уравнения Кортевега-де Фриза с нагруженными членами вида

$$q_t = a(t)q(x_0, t)[6q^2q_x - q_{xxx}] + b(t)q(x_1, t)q_x, \quad t > 0 \quad (1)$$

при начальных условиях

$$q(x, t)|_{t=0} = q_0(x), \quad x \in R \quad (2)$$

в классе действительных π -периодических по X (не обязательно конечнозонных) функций, удовлетворяю

щих условиям гладкости

$$q(x + \pi, t) = q(x, t) \in C_x^3(t > 0) \cap C_t^1(t > 0) \cap C(t \geq 0). \quad (3)$$

В уравнении (1), $a(t), b(t) \in C[0, \infty)$ - заданная действительная ограниченная функция, $x_0, x_1 \in R$.

Цель настоящей работы - описать процедуру построения решения $q(x, t)$, $x \in R, t > 0$ задачи (1)-(3) в рамках обратной спектральной задачи для периодического оператора Дирака:

$$L(\tau, t)y \equiv By' + \Omega(x + \tau, t)y = \lambda y, \quad \tau \in R, \quad (4)$$

где

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \Omega(x, t) = \begin{pmatrix} 0 & q(x, t) \\ q(x, t) & 0 \end{pmatrix}, \quad y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}.$$

Обозначим через

$$c(x, \lambda, \tau, t) = (c_1(x, \lambda, \tau, t), c_2(x, \lambda, \tau, t))^T \text{ и}$$

$$s(x, \lambda, \tau, t) = (s_1(x, \lambda, \tau, t), s_2(x, \lambda, \tau, t))^T \text{ реше-}$$

ния уравнения (4) с начальными условиями

$$c(0, \lambda, \tau, t) = (1, 0)^T \text{ и } s(0, \lambda, \tau, t) = (0, 1)^T. \text{ Функ-}$$

ция, $\Delta(\lambda) = c_1(\pi, \lambda, \tau, t) + s_2(\pi, \lambda, \tau, t)$ называется функций Ляпунова для уравнения (4).

Спектр оператора L чисто непрерывна и состоит из следующего множества:

$$\sigma(L) \equiv \{\lambda \in R : |\Delta(\lambda)| \leq 2\} = R \setminus \left(\bigcup_{n=-\infty}^{n=\infty} (\lambda_{2n-1}, \lambda_{2n}) \right),$$

при этом интервалы $(\lambda_{2n-1}, \lambda_{2n})$, $n \in Z$ называются лакунами, где $\lambda_{4k-1}, \lambda_{4k}$ собственные значения периодической задачи $(y(0) = y(\pi))$, а $\lambda_{4k+1}, \lambda_{4k}$ собственные значения антипериодической задачи $(y(0) = -y(\pi))$ для уравнения (4).

Корни уравнения $s_1(\pi, \lambda, \tau, t)$ обозначим через $\xi_n = \xi_n(\tau, t)$, $n \in Z$. Они совпадают с собственными значениями задачи Дирихле для системы (4) с краевыми условиями $y_1(0, \tau, t) = 0, y_1(\pi, \tau, t) = 0$.

Числа ξ_n , $n \in Z$ и знаки

$$\sigma_n \equiv \sigma_n(\tau, t) = \text{sign}\{s_2(\pi, \xi_n, \tau, t) - c_1(\pi, \xi_n, \tau, t)\}, \quad n \in Z$$

называются спектральными параметрами оператора L .

Спектральные параметры ξ_n, σ_n , $n \in Z$ и границы спектра λ_n , $n \in Z$ называются спектральными данными оператора L .

Лемма 1. Пусть

$$y_n(x, \tau, t) = (y_{n,1}(x, \tau, t), y_{n,2}(x, \tau, t))^T, \quad n \in Z \text{ ор-}$$

тонормированные собственные вектор-функции, соответствующие собственным значениям

$$\xi_n = \xi_n(\tau, t), \quad n \in Z \text{ задачи Дирихле для систе-}$$

мы уравнений (4). Тогда имеет место:

$$1) \quad \dot{\xi}_n(\tau, t) = (y_{n,2}^2(\pi, \tau, t) - y_{n,2}^2(0, \tau, t)) \{-2\xi_n a(t)q(x_0, t) \cdot [q^2(\tau, t) + q_\tau(\tau, t) + 2\xi_n^2(\tau, t)] - \xi_n b(t)q(x_1, t)\}, \quad n \in Z \quad (5)$$

$$2) y_{n,2}^2(\pi, \tau, t) - y_{n,2}^2(0, \tau, t) = 2(-1)^n \sigma_n(\tau, t) h_n(\xi), \quad (6)$$

где

$$h_n(\xi) = \sqrt{(\xi_n - \lambda_{2n-1})(\lambda_{2n} - \xi_n)} \sqrt{\prod_{\substack{k=-\infty \\ k \neq n}}^{\infty} \frac{(\lambda_{2k-1} - \xi_n)(\lambda_{2k} - \xi_n)}{(\xi_k - \xi_n)^2}}$$

Лемма 2. Пусть

$$v_n(x, \tau, t) = (v_{n,1}(x, \tau, t), v_{n,2}(x, \tau, t))^T, \quad n \in Z$$

ортонормированные собственные вектор-функции, соответствующие собственным значениям $\lambda_n(\tau, t)$, $n \in Z$ периодической или антипериодической краевой задачи для системы уравнений (4). Тогда имеем место:

$$\dot{\lambda}_n(\tau, t) = 0 \quad (7)$$

Основной результат настоящей работы содержится в следующей теореме.

Теорема 1. Пусть $q(x, t)$, $x \in R$, $t > 0$ решение задачи (1) - (3). Тогда $\lambda_n(\tau, t)$, $n \in Z$ - границы спектра оператора Дирака $L = L(\tau, t)$ не зависят от параметров τ и t , а спектральные параметры $\xi_n(\tau, t), \sigma_n(\tau, t)$, $n \in Z$

удовлетворяют аналогу системы уравнений Дубровина $\xi_n(\tau, t) = 2(-1)^n \sigma_n(\tau, t) h_n(\xi) \{-2\xi_n a(t) q(x_0, t) \cdot [q^2(\tau, t) + q_\tau(\tau, t) + 2\xi_n^2] - b(t) \xi_n q(x_1, t)\}$, $n \in Z$

Здесь знак $\sigma_n(\tau, t)$ меняется на противоположный при каждом столкновении точки $\xi_n(\tau, t)$ с границами своей лакуны $[\lambda_{2n-1}, \lambda_{2n}]$. Кроме того, выполняются следующие начальные условия

$$\xi_n(\tau, t)|_{t=0} = \xi_n^0(\tau), \quad \sigma_n(\tau, t)|_{t=0} = \sigma_n^0(\tau), \quad n \in Z, \quad (9)$$

при этом $\xi_n^0(\tau)$, $\sigma_n^0(\tau)$, $n \in Z$ - спектральные параметры оператора Дирака $L(\tau, 0)$ с коэффициентом

$$q_0(x + \tau), \quad \tau \in R.$$

Доказательство теоремы следует из леммы 1 и 2.

Замечание 1. Используя формулы следов

$$q^2(\tau, t) + q_\tau(\tau, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left(\frac{\lambda_{2k-1}^2 + \lambda_{2k}^2}{2} - \xi_k^2(\tau, t) \right), \quad (10)$$

$$q(\tau, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^{k-1} \sigma_k(\tau, t) h_k(\xi(\tau, t)) \quad (11)$$

систему дифференциальных уравнений (8) можно переписать в замкнутой форме.

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_n(\tau, t) = & 2(-1)^n \sigma_n(\tau, t) h_n(\xi(\tau, t)) \left\{ -2a(t) \xi_n(\tau, t) \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^{k-1} \cdot \right. \\ & \cdot \sigma_k(x_0, t) h_k(\xi(x_0, t)) \cdot \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} \left(\frac{\lambda_{2k-1}^2 + \lambda_{2k}^2}{2} - \xi_k^2(\tau, t) \right) + 2a(t) \xi_n^2(\tau, t) \right] - \\ & \left. - b(t) \xi_n(\tau, t) \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^{k-1} \sigma_k(x_1, t) \cdot h_k(\xi(x_1, t)) \right\}, \quad n \in Z \end{aligned} \quad (12)$$

Замечание 2. Это теорема даёт метод решения задачи (1) - (3). Для этого сначала найдём спектральные данные $\lambda_n, \xi_n^0(\tau), \sigma_n^0(\tau)$, $n \in Z$ оператора $L(\tau, 0)$ соответствующие коэффициенту $q_0(x + \tau)$. Теперь в уравнение (12) и начальным условиям (9) последовательно положим $\tau = x_0$ и $\tau = x_1$. Решая полученную задачу Коши, находим $\xi_n(x_0, t), \sigma_n(x_0, t)$ и $\xi_n(x_1, t), \sigma_n(x_1, t)$. Затем из формулы (11) определим функции $q(x_0, t)$ и $q(x_1, t)$. После этого подставляем эти данные в систему уравнений (8), и решая задачу Коши (8), (9) при произвольном значении τ , находим $\xi_n(\tau, t)$, $\sigma_n(\tau, t)$, $n \in Z$. Из формул следов (11) получаем $q(\tau, t)$, т.е. решение задачи.

Следствие 1. Если начальная функция $q_0(x)$ является действительной π -периодической функцией, то решение $q(x, t)$ задачи (1)-(3) тоже является аналитической функцией по X .

Это утверждение следует из аналога теоремы Е. Трубовица (см. [14], [15])

Следствие 2. Если число $\frac{\pi}{2}$ является периодом (антипериодом) для начальной функции $q_0(x)$, то все корни уравнения $\Delta(\lambda) + 2 = 0$ ($\Delta(\lambda) - 2 = 0$) являются двукратными. Так как функция Ляпунова, соответствующая коэффициенту $q(x, t)$, совпадает с $\Delta(\lambda)$, то по аналогу обратной теореме Борга (см. [16], [17]), число $\frac{\pi}{2}$ является также периодом (антипериодом) для решения $q(x, t)$, по переменной X .

Литература

1. Gardner C., Green I., Kruskal M., Miura R. A method for solving the Korteweg-de Vries equation. // Phys.Rev.Lett., -New York, 1967. V.19.-p.1095-1098.
2. Фаддеев Л.Д. Свойства S-матрицы одномерного уравнения Шредингера. // Тр. МИАН СССР, 73(1964), 314-336.
3. Марченко А.В. Операторы Штурма-Лиувилля и их приложения. -Киев: «Наука думка», 1977.
4. Левитан Б.М. Обратные задачи Штурма-Лиувилля. -М.: «Наука», 1984.
5. Lax P.D. Integrals of nonlinear equations of evolution and solitary waves. // Comm.Pure and Appl.Math., 1968.v.21.p.467-490.
6. Захаров В.Е., Шабат А.Б. Точная теория двумерной самофокусировки в одномерной автомодуляции волн в нелинейных средах. // ЖЭТФ, 61:1(1971), 118-134.
7. Wadati M. The exact solution of the modified Korteweg-de Vries equation. // J.Phys.Soc.Jpn., 32:6(1972), 44-47.
8. Захаров В.Е., Тахтаджян Л.А., Фаддеев Л.Д. Полное описание решений «sin-Gordon» уравнения. // Докл.АН СССР, 219:6(1974), 1334-1337.
9. Ablowitz M.J., Kaup D.J., Newell A.C., Segur H. Method for solving the sine-Gordon equation. // Phys.Rev. Lett., 30:25(1973).
10. Итс А.Р., Матвеев В.Б. Операторы Шредингера с конечнозонным спектром и N-солитонные решения уравнения Кортевега-де Фриза // ТМФ, 23:1 (1975), 51-68.
11. Дубровин Б.А., Новиков С.П. Периодический и условно периодический аналоги многосолитонных решений уравнения Кортевега-де Фриза // ЖЭТФ, 67:12(1974), 2131-2143.
12. Итс А.Р., Котляров В.П. Явные формулы для решений нелинейного уравнения Шредингера // Докл. АН УССР. Сер.А., 1976, №11, 965-968.

13. Смирнов А.О. Эллиптические нелинейного уравнения Шредингера и модифицированного уравнения Кортевега-де Фриза // Матем. сб., 185:8(1994), 103-114.
14. Trubowitz E. The inverse problem for periodic potentials. // Comm. Pure. Appl. Math., -New York, 1977. v.30. p.321-337.
15. Хасанов А.Б., Ибрагимов А.М. Обратной задаче для оператора Дирака с периодическим потенциалом. // Узб. матем. журн., 2001, №3-4., -С. 48-55.
16. Хасанов А.Б., Яхшимуратов А.Б. Аналог обратной теоремы Г.Борга для оператора Дирака. // Узб. матем. журн., 2000, №3-4.
17. Яхшимуратов А.Б., Хасанов М.М., Янгибаева Р. Об одном аналоге обратной теоремы Борга для системы уравнений Дирака. // Илм сарчашмалари. –Ургенч: 2019, №1, -С.11-16.

Ushbu maqolada teskari spektral masalalar usulida yuklangan hadli modifissirlangan Korteveg-de Friz tenglamasi davriy funksiyalar sinfidagi integrallangan.

РЕЗЮМЕ

РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются уравнения Кортевега-де Фриза полученные методом обратной спектральной задачи в классе периодических функций.

SUMMARY

In the article the method of the inverse spectral problem is applied to the integration of the modified Korteweg-de Vries equation in the class of periodic functions.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА МДП СТРУКТУР

Б.К.Исмаилов – докторант

А.К.Бижанов - ассистент преподаватель

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Р.А.Аметов – ассистент преподаватель

П.К.Нурниязов – магистрант

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

Таянч сўзлар: МДП конструкции, гидростатик босим, Шоттки диоды.

Ключевые слова: МДП конструкцию, гидростатическое давление, диод Шоттки.

Key words: MDS construction, hydrostatic pressure, Schottky diode.

Введение: В настоящее время большинство полупроводниковых приборов и конструкционные элементы интегральных микросхем (ИС) с участием кремния на основе металл-диэлектрик-полупроводниковые (МДП) конструкции, характеристики границы раздела полупроводник-диэлектрик (ПД) могут значительно влияют на параметры производимого устройства и конструктивные элементы [1].

Существует целый ряд работ (см., например, [2]) посвященный исследованию влияния такого внешнего действия как термическая обработка и γ -облучение на параметры интерфейсов. Что касается влияния давления, то имеющиеся работы имеют дело преимущественно с анализом изменение объемных свойств в слоях МДП конструкции [3-6]. Авторы [3-5] рассказали изменение параметров в МДП-конструкциях, подвергнутых одноосное упругое напряжение для изменения концентрации и подвижность основных носителей заряда в полупроводниках. В [6] наблюдаются вариации релаксации характеристики под давлением были связаны с производством центров дефектов в изоляционных слоях, а в [7] эти характеристики были объяснены с точки зрения кристаллографическая ориентация полупроводникового кристалла. Целью этой работы было исследование влияние гидростатического давления (ВД) на плотность состояния электрона локализованные на интерфейсе кремний-кремний оксид.

Исследуемые конструкции были подготовлены на основе кристаллического кремния n -типа с удельной сопротивлением $\rho=4,5$ Ом·см с кристаллографической ориентацией (100), которая чаще всего используется в микроэлектронике. Диффузионное легирование кремния никелем было сделано (при температуре $T=1000\div1200$ °С в течение $t=1\div2$ ч) из металлического никеля, нанесенного на поверхность материала кремния.

Примесь никель была выбрана потому, что ее введение влияет на плотность распределения поверхностных состояний на E_g кремния [8].

Слой кремниевого оксида (толщина $0,2\div0,3$ мкм) выращен с использованием термического окисления кремниевых пластин ($T=800\div900$ °С в течение $t=30\div40$ мин) в хлорсодержащем среда. Конструкция МДП были подготовлены с использованием вакуумное осаждение алюминия на диоксид кремния поверхность. Диаметр контрольного электрода составлял 3 мм, изготовленные

конструкции подвергались гидростатическому давлению до $2\div8$ кбар (с шагом 2 кбар и удержанием интервал $15\div20$ мин) с использованием установки, аналогичной описанной в [9]. Уровни энергии никеля в кремнии были идентифицируется с помощью процедуры, описанной в [10]. К этому в конце концов, мы сделали Au- n -Si (Ni) диоды Шоттки, используя химическое удаление слоя SiO_2 и осаждение вакуума Au.

Метод исследования: Напишем условие электронеутральности конструкции МДП:

$$kqNx + Q_p + Q_{ss} = Q_{cs} \quad (1)$$

где k - площадь омического контакта, q - заряд электрона, $N = N_m$ - концентрация мелкой легирующий примеси, x - ширина области пространственного заряда (ОПЗ), Q_p - заряд инверсионного слоя, Q_{ss} - заряд поверхностных состояний, Q_{cs} - заряд на затворе конструкции МДП.

Продифференцировав правую и левую часть уравнения (3) по времени t , получим выражение описывающее изменение заряда во времени:

$$kqN \frac{dx}{dt} + \frac{dQ_p}{dt} + \frac{dQ_{ss}}{dt} = \frac{dQ_{cs}}{dt} \quad (2)$$

Так как в процессе релаксации заряд на металлическом электроде не изменяется ($\frac{dQ_{cs}}{dt} = 0$), то выражение (2) будет выглядеть так:

$$kqN \frac{dx}{dt} + \frac{dQ_p}{dt} + \frac{dQ_{ss}}{dt} = 0 \quad (3)$$

Изменение заряда инверсионного слоя можно записать в виде: $\frac{dQ_p}{dt} = Aqkx$, где A - скорость генерации

носителей заряда в объеме полупроводника, а изменение заряда поверхностных состояний $\frac{dQ_{ss}}{dt} = Sqk$, где S

- скорость поверхностной генерации носителей заряда. С учетом этих обозначений уравнение (3) примет вид:

$$kqN \frac{dx}{dt} + Aqkx + Sqk = 0 \quad (4)$$

или, после упрощений: