

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твёрдого тела

Спектральная зависимость оптических свойств тонких пленок нитрида
кремния, полученных магнетронным распылением

АФТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 4052 группы
направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
института физики

Уракчеева Никиты Владиславовича

Научные руководители:

Доцент кафедры медицинской
физики, к.ф.-м.н.

должность, ученая степень, ученое звание

Зав. кафедрой физики твёрдого
тела:

д.ф.-м.н., профессор,

должность, ученая степень, ученое звание

МК 18.06.24

подпись, дата

М.Ю.Калинкин

инициалы, фамилия

АВ 18.06.24

подпись, дата

Ал.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

Саратов 2024

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире исследование и разработка тонких пленок нитрида кремния имеют большую **актуальность** для различных областей науки и техники, таких как электроника, фотоника, солнечные батареи, оптика и многие другие. Узкие слои нитрида кремния обладают уникальными оптическими характеристиками, что делает их привлекательными для широкого спектра применений. Одним из методов получения тонких пленок нитрида кремния является магнетронное распыление. Этот метод является широко распространенным и позволяет получать пленки с высокой степенью чистоты и хорошими оптическими свойствами. Изучение спектральной зависимости оптических свойств таких пленок, полученных магнетронным распылением, имеет важное значение для понимания их поведения и оптимизации процессов производства.

Цель:

установить зависимость показателя преломления n от технологического параметра - потока азота при осаждении пленок нитрида кремния магнетронным напылением.

Задачи:

1. Изучить литературу по магнетронному напылению пленок нитрида кремния.
2. Произвести спектроскопию поглощения предоставленных нам пленок нитрида кремния в УФ и видимом спектральных диапазонах.
3. Выполнить в программе `scilab` обработку полученных спектров с использованием соотношений из теории интерференции в тонких пленках.

Основное содержание работы

Во введении рассматривается актуальность работы, определяется цель и задачи исследования.

Первая глава посвящена рассмотрению характеристик нитрида кремния, способам получения тонких пленок, принципам работы магнетронного распыления.

Нитрид кремния (Si_3N_4) - материал с высокой термической стабильностью до 1200°C , высокой прочностью, твердостью и устойчивостью к износу. Он химически инертен, обладает высокой электрической изоляцией, низким коэффициентом теплового расширения и хорошей теплопроводностью. В микроэлектронике важны минимальное механическое напряжение, скорость жидкостного травления, стойкость к пробоям и равномерность толщины пленок нитрида кремния.

Существуют различные методы получения тонких пленок нитрида кремния. Один из них - PECVD, который обеспечивает высокую устойчивость пленок к окружающей среде. Еще один метод - магнетронное распыление, позволяющее наносить пленки быстро и с хорошей адгезией. Другие методы включают MBD, спрей-пиролиз и золь-гель-метод. Каждый метод имеет свои особенности, такие как способ осаждения и регулирование свойств пленок.

Магнетронное напыление представляет собой вариацию процесса диодно-катодного напыления, где пары распыляемого материала образуются за счет облучения мишени ионами рабочего газа, возникающими в плазме аномального тлеющего разряда (рис. 1).

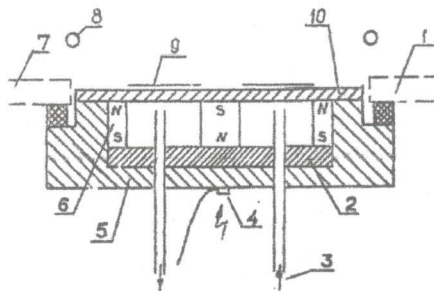


Рисунок 1— схема пленочной магнетронной установки

Во второй главе были рассмотрены метод определения толщины эпитаксиальных слоев по интерференции ИК — излучения (рис.2) и показатель преломления в полупроводниках и диэлектриках (рис.3)

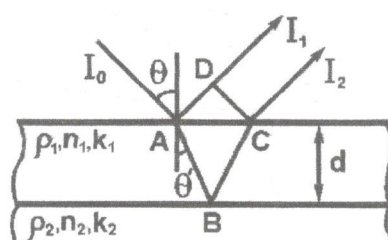


Рисунок 2 – Схема отражения света от эпитаксиального слоя

На сильно легированной подложке, луч света I_0 направлен на точку А под углом θ относительно нормали. Часть этого луча под углом θ отражается, образуя луч I_1 , в то время как оставшаяся часть проникает в эпитаксиальный слой под углом θ' , достигает подложки в точке В. После отражения от подложки, прошедший луч преломляется в точке С на поверхности эпитаксиального слоя и продолжает движение параллельно лучу I_1 . На выходе получили два луча с одним периодом колебаний, но имеющие разность хода и фаз.

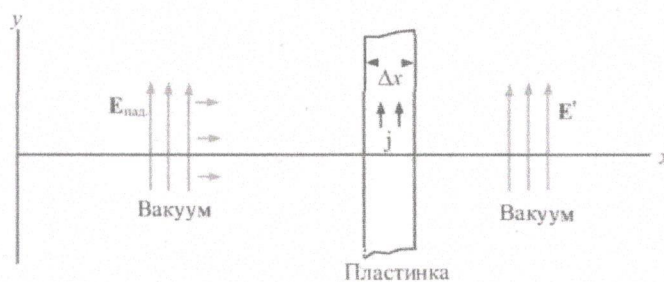


Рисунок 3 – Падающая волна $E_{пад}$ наводит в пластинке плотность тока j , излучение которого вносит вклад в результирующую волну E

Показатель преломления, обозначаемый символом n , представляет собой отношение скорости света к скорости в определенной среде и определяет, насколько свет будет изменять свое направление при переходе из одной среды в другую.

Когда рассматривается взаимодействие падающей волны и поля излучения атомных электронов в материале, возможно запаздывание фазы у результирующей волны. Это приводит к тому, что скорость фронта результирующей волны оказывается меньше скорости света, хотя каждая отдельная волна распространяется со скоростью света.

В третьей главе было рассмотрено создание слоев нитрида кремния, описание экспериментальной установки, обработка и анализ полученных данных, моделирование, выбор в качестве базовых (эталонных) точек значений показателя преломления образцов 10-10 и 20-0, расчет неизвестных промежуточных значения показателя преломления для образцов с соотношением потоков аргона и азота от 12-8 до 18-2.

Для формирования слоев нитрида кремния толщиной 1 микрон был использован метод магнетронного реактивного осаждения. Процедура включала распыление кремниевого катода с добавлением инертного газа аргона и реактивного газа азота в рабочую среду для депонирования слоев Si_3N_x на кремниевые подложки. Выбор магнетронного осаждения был обоснован предпочтением данного метода перед химическим осаждением из газовой фазы, поскольку первый способ обеспечивает более равномерное распределение элементов по толщине пленки. В случае второго метода изменения концентраций атомов компонентов происходят из-за неравномерности подачи реагентов в рабочую среду. Процесс осаждения пленок проводился при температуре 150 градусов Цельсия.

Таблица 1 – Соотношения газов Ar и N_2 при осаждении

Образцы на кварце	Ar, см ³	N, см ³
Образец 1	10	10
Образец 2	12	8
Образец 3	14	6
Образец 4	16	4
Образец 5	18	2
Образец 6	20	0

Спектры регистрировались при помощи спектрометра UV-1700 pharmaSpec (рис. 4).



Рисунок 4 – Спектрометр UV-1700 pharmaSpec

Излучение источника света (дейтериевой лампы D2 или галогенной лампы W1) отражается зеркалом M1 и попадает в монохроматор (рис. 5).

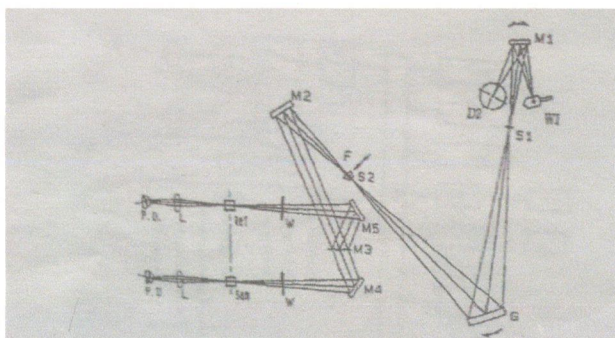


Рисунок 5 – Оптическая схема прибора

Переключение источника света происходит автоматически на установленной ранее длине волны.

Обработка полученных данных проводилась в программном обеспечении scilab, а также Microsoft Excel (рис.6).

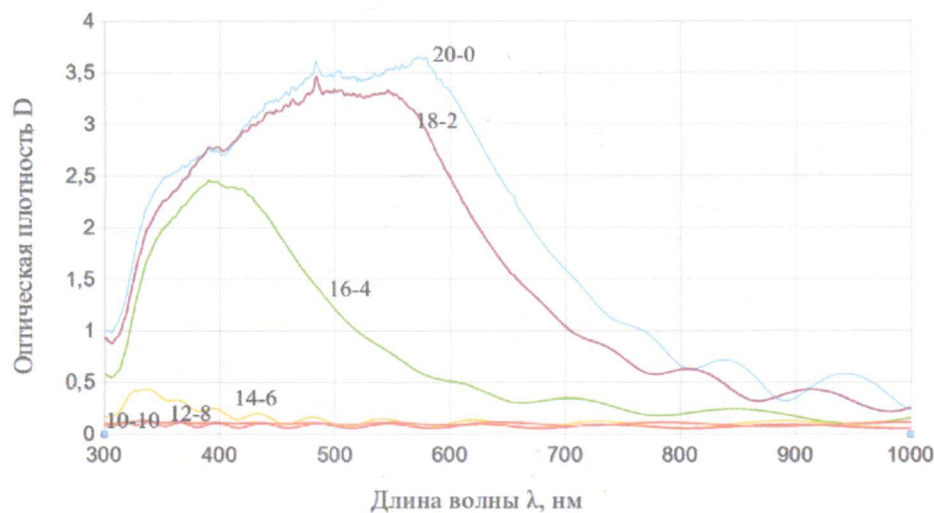


Рисунок 6 – Спектры оптической плотности всех образцов

Используем формулу (1) для моделирования спектральной зависимости на рис.7.

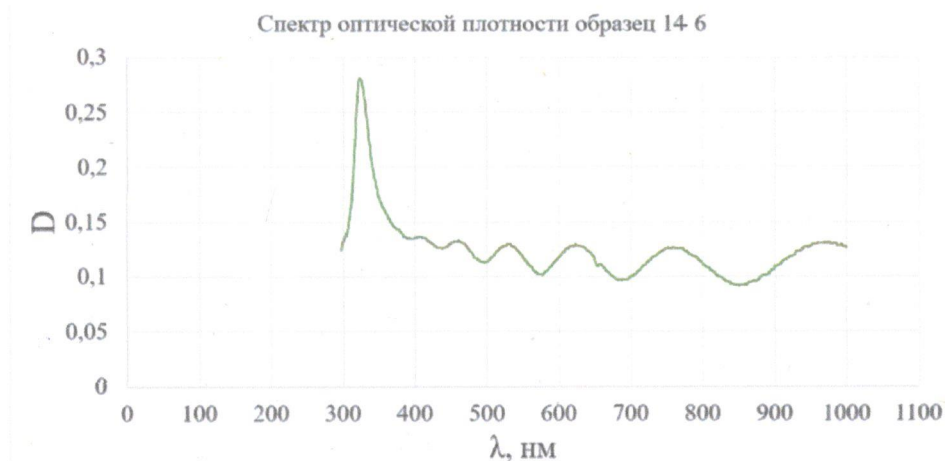


Рисунок 7 – Экспериментальный спектр оптической плотности D пленки нитрида кремния на кварцевой подложке образца 14-6.

Интерференционное слагаемое рассчитаем по закону косинуса от разности фаз двух когерентных волн (рис.8).

$$D_i = A \cos \left(2\pi \frac{l}{\lambda_i} \right) + b \quad (1)$$

D- десятичный логарифм коэффициента поглощения (оптическая плотность)

λ - длина волны света подающего на образец в спектрофотометре

$l = 2d \cdot n$ - оптическая разность хода в пленке Si_3N_4

d -толщина пленки Si_3N_4

$n=2$ - показатель преломления пленки Si_3N_4

$A=0.01$ - амплитуда модуляции интерференционных максимумов

$b=0.11$ - слагаемое, учитывающее подъем средней линии графика

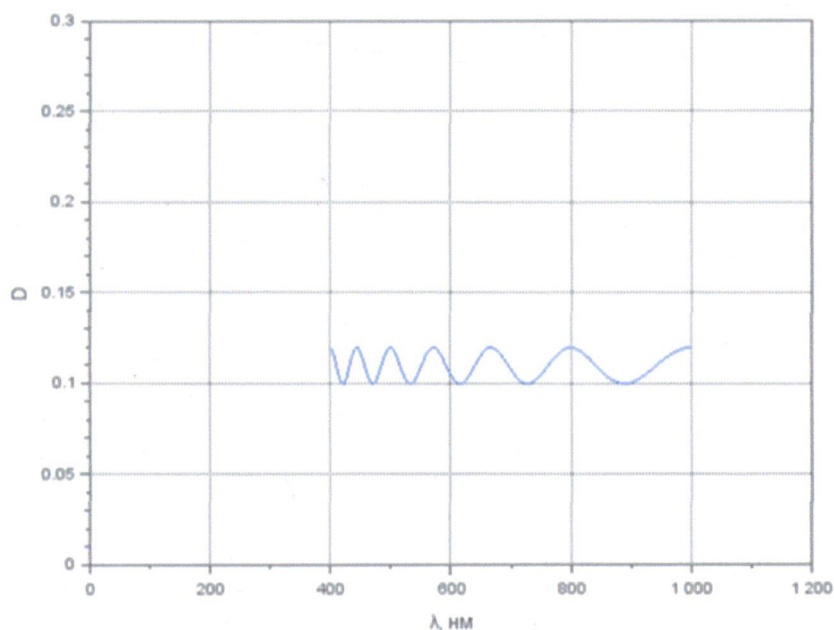


Рисунок 8 – Смоделированная зависимость оптической плотности D пленки нитрида кремния от длины волны λ падающего на нее излучение

В качестве базовых возьмем спектры оптической плотности образцов 10-10 и 20-0 (рис. 9)

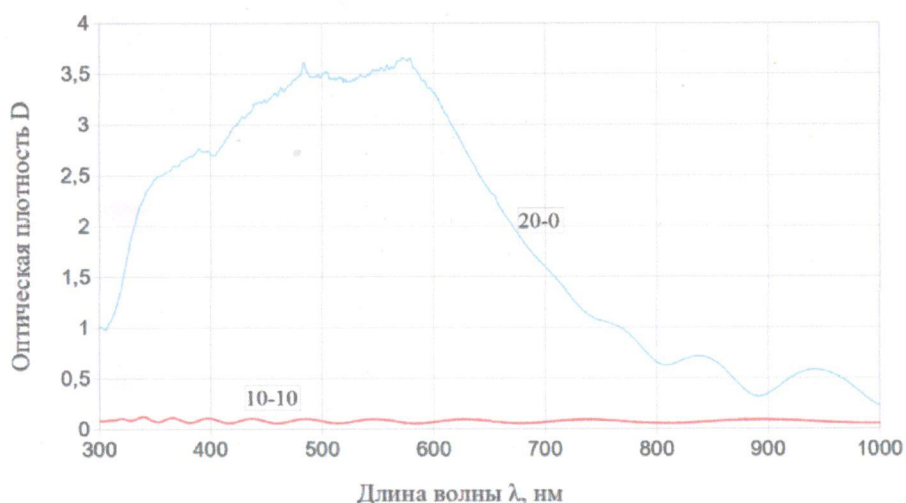


Рисунок 9 – Спектры оптической плотности образцов, взятых в качестве базовых

Поскольку из литературных источников известно, что пленка нитрида кремния стехиометрического состава осаждается при условии соотношения объемных потоков газа аргона и азота близкого к 1 введем предположение, что пленка образца 10-10 (рис.10) содержит только аморфный нитрид кремния.

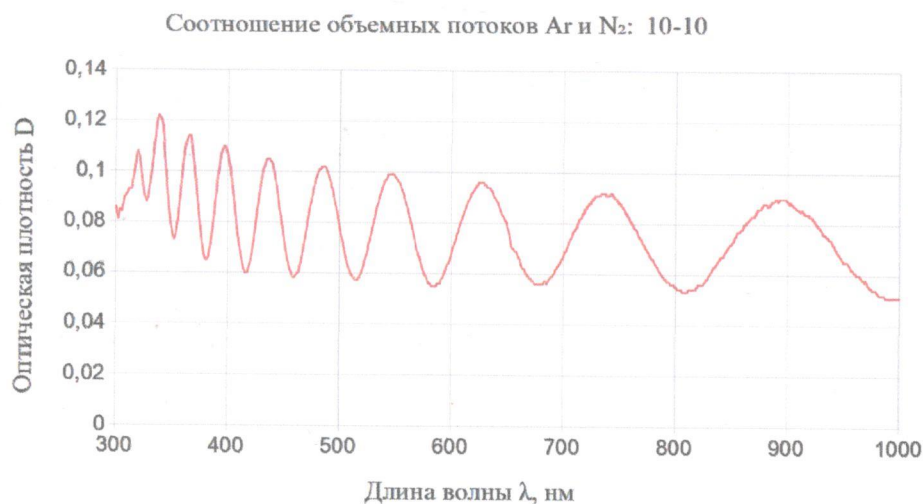


Рисунок 10 – Спектр оптической плотности D пленки нитрида кремния образца 10-10

По спектральной кривой на рис 10 определим положения максимумов, произведем вычисления, необходимые для идентификации номера каждого максимума.

Поскольку при осаждении пленки образца 20-0 величина объемного потока азота была равна нулю введем предположение, что пленка образца 20-0 содержит только аморфный кремний.

Воспользуемся формулой (2) для идентификации номера максимума

$$k = \frac{\lambda_{k+1}}{(\lambda_k - \lambda_{k+1})} \quad (2)$$

Применим формулу (3) для определения толщины пленки

$$d = \frac{k\lambda_k}{(2n_{aSi_3N_4 \text{ табл}})} \quad (3)$$

С учетом известного из научной литературы значения показателя преломления n_{aSi} для аморфного кремния $n_{aSi}=3,7$ сделаем расчет толщины пленки d_{aSi} образца 20-0. С учетом известного из научной литературы значения показателя преломления $n_{aSi_3N_4}$ для аморфного нитрида кремния $n_{aSi_3N_4}=2,1$ выполним

расчет толщины пленки $d_{\alpha\text{Si}_3\text{N}_4}$ образца 10-10.

Расчет неизвестных промежуточных значения показателя преломления для образцов от 12-8 до 18-2 (рис. 11) проводился по формуле (4)

$$n_{12-8} = k \frac{\lambda_k}{(2d)} \quad (4)$$

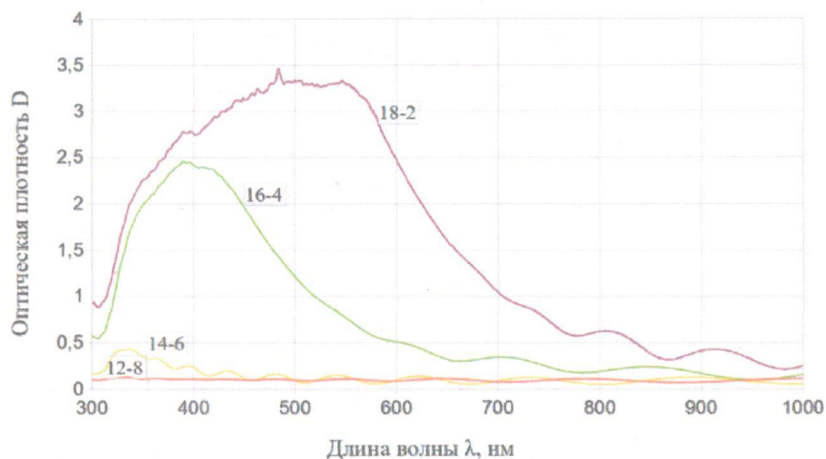


Рисунок 11 – Расчет неизвестных промежуточных значения показателя преломления для образцов от 12-8 до 18-2

На рис. 12 представлена зависимость показателя преломления от потока азота в момент осаждения.

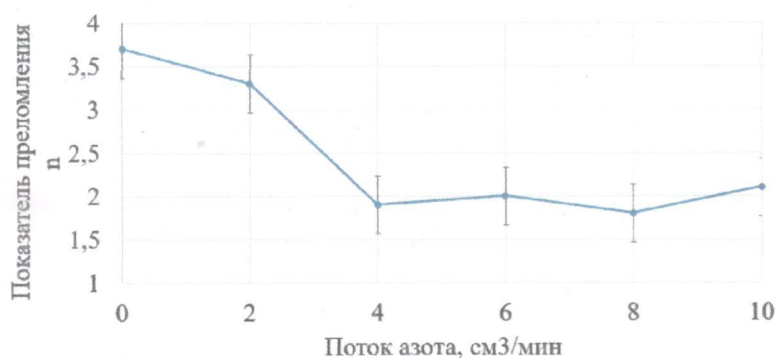


Рисунок 12 – Зависимость показателя преломления n от потока азота в момент осаждения

Как видно из рисунка зависимость убывающая. Наклон графика вначале сильно выражен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Была проведена спектроскопия поглощения 6 пленок нитрида кремния на кварцевых подложках в видимом и УФ спектральных диапазонах (от 300 до 1000 нм).
2. С использованием теории интерференции в тонких пленках было проведено распознавание номеров интерференционных максимумов k в спектрах оптической плотности $D(\lambda)$ образцов пленок.
3. Была рассчитана толщина контрольных образцов пленки кремния и пленки нитрида кремния, показатель преломления которых принимался известным из литературных данных ($n_{\text{Si}}=3,7$ и $n_{\text{Si}_3\text{N}_4}=2,1$)
4. На основе полученного значения средней толщины осаждения в технологическом процессе были рассчитаны неизвестные показатели преломления остальных образцов пленок с соотношением потоков аргона и азота от 12-8 до 18-2. Зависимость показателя преломления от потока азота убывающая. Наклон графика вначале сильно выражен.

