

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

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНОГО  
ИНФРАКРАСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДВУХСЛОЙНОЙ  
ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРОЙ МЕТАЛЛ/ПОЛУПРОВОДНИК НА  
ГИБКОЙ ПОДЛОЖКЕ**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки магистратуры 2 курса 2291 группы  
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,  
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»  
института физики

Волковойновой Ларисы Дмитриевны

Научный руководитель,  
доцент, к.ф.-м.н., доцент  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.А. Сердобинцев  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,  
д.ф.-м.н., профессор  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Вениг  
\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Саратов 2024

**Введение.** Особый интерес вызывает такая активно развивающаяся область, как гибкая электроника. Она находит свое применение в создании, например, аккумуляторов, датчиков и даже электронной кожи. Таким образом, становится важной разработка способов создания поликристаллических пленок полупроводниковых материалов, таких как кремний, на гибких подложках. Кремний выбран не случайно, поскольку он является одним из самых широко используемых в электронике материалов.

Однако при использовании гибких подложек возникает проблема кристаллизации кремния, поскольку температура плавления большинства гибких подложек ниже температуры кристаллизации кремния. Выходом из данной ситуации служит использование методики металл-индуцированной лазер-стимулированной (МИЛС) кристаллизации кремния, при которой воздействие на подложку минимально. Особенностью данной методики является использование металлического слоя в качестве поглощающего энергию лазерного излучения и передающего ее кремнию для его кристаллизации.

Учитывая все вышеперечисленное можно сказать, что изучение механизмов протекания МИЛС кристаллизации является актуальным для создания в дальнейшем микроэлектронных приборов с применением данной методики.

В настоящей работе подробно исследуются процессы, происходящие при взаимодействии лазерного излучения с двухслойной структурой металл/полупроводник.

Целью выпускной квалификационной работы является исследовать воздействие инфракрасного лазерного излучения на структуру кремний/алюминий на гибкой полиимидной подложке.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) создание структуры методом магнетронного напыления;
- 2) обработка образцов с помощью лазерного излучения;

3) исследование облученных образцов с помощью оптического микроскопа;

4) изучение структуры облученных образцов методом комбинационного рассеяния света (КРС);

5) изучение состава облученных образцов методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДА);

6) анализ полученных результатов и описание процессов, происходящих при облучении исследуемой двухслойной структуры.

Научная новизна.

Впервые комплексно изучены процессы, протекающие при воздействии инфракрасного лазерного излучения варьируемой интенсивности на тонкоплёночную структуру металл-полупроводник на гибкой полимерной подложке.

Положение, выносимое на защиту.

При облучении сформированной на гибкой полиимидной подложке двухслойной структуры алюминий-кремний инфракрасным импульсным лазерным излучением возможно формирование протяжённых областей поликристаллического кремния без примеси алюминия при сохранении целостности полиимидной подложки.

Выпускная квалификационная работа занимает 52 страницы, содержит 30 рисунков и 1 таблицу.

Обзор составлен по 32 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, формулируется цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой литературный обзор используемых методов кристаллизации кремния и создания покрытий, а также обзор механизмов протекания абляции для разного времени лазерного воздействия.

Во втором разделе работы приводятся результаты измерений, и на их основе выдвигается предположение о механизме процессов, протекающих при

взаимодействии инфракрасного лазерного излучения на структуру металл/полупроводник.

### **Основное содержание работы**

В работе исследуется воздействие инфракрасного лазерного излучения на структуру кремний/алюминий на полиимидной подложке. Для исследования влияния излучения были созданы несколько образцов. Для этого на полиимидную подложку с помощью магнетронного напыления наносят слой кремния толщиной 1 мкм, а затем слой алюминия толщиной 100 нм; после этого полученный образец облучают лазером с длиной волны 1064 нм. На данной длине волны поглощает практически только алюминий, поэтому нагревается именно алюминий, а от него нагревается кремний [1, 2]. Для работы на образцах было создано пять линий в результате однократного прохода лазерного луча с различными скоростями движения: 100 мм/с, 150 мм/с, 200 мм/с, 250 мм/с и 300 мм/с.

После облучения образцы исследовались с помощью комплекса современных материаловедческих методов. В частности, полученные линии изучались методом оптической микроскопии. Также была изучена их структура с помощью комбинационного рассеяния света (КРС), а также установлено процентное соотношение алюминия и кремния поперек линий и получен профиль данного соотношения методом энерго-дисперсионного анализа (ЭДА). Благодаря этим исследованиям было выделено несколько участков, которые отличались по своей структуре, соотношению компонентов и внешнему виду. При исследовании методами КРС и ЭДА было выделено семь участков, тогда как визуально можно выделить всего четыре. Таким образом, были выделены участки покрытые металлом (иными словами – не подвергшиеся влиянию излучения), участки аморфного кремния, участки кристаллизованного кремния с высокой и низкой интенсивностью пика КРС, соответствующего кристаллизованному кремнию, и участки с оголенным полиимидом. Также с помощью исследований КРС и ЭДА было изучено влияние скорости движения лазерного луча при обработке на размер описанных выше участков.

Для выдвижения предположения о механизме протекания процессов при воздействии лазера на структуру алюминий/кремний была исследована морфология поверхности линий методом сканирующей электронной микроскопии.

В результате всех проведенных исследований был предложен механизм, суть которого заключается в следующем. При облучении области в участке, на который пришелся максимум энергии луча, происходит абляция, как алюминия, так и кремния; и в данном месте происходит оголение полиимида. При этом, поскольку при длительности импульса 100 нс абляция происходит по режиму нормального испарения, кремний был выдавлен давлением пара [3] и образовал валик на границе лазерного воздействия, который показал хорошую кристаллизацию. Наличие вала кремния подтвердило проведенное исследование линии методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Испаренный алюминий осел обратно и, согласно исследованиям СЭМ, сформировал агрегаты сферической формы на поверхности кремния. Кремний, при удалении от области максимального воздействия лазерного излучения, кристаллизуется в основном за счет распространения тепла по пленке кремния. С этим связано ухудшение кристаллизации при удалении от центра линии.

**Заключение.** В результате комплексного изучения образцов были сделаны выводы о характере процессов, протекающих при воздействии инфракрасного лазерного излучения варьируемой интенсивности на тонкоплёночную структуру металл-полупроводник на гибкой полимерной подложке.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были проведены следующие работы:

- 1) создание структуры методом магнетронного напыления;
- 2) обработка образцов с помощью лазерного излучения;
- 3) исследование облученных образцов с помощью оптического микроскопа;

4) изучение структуры облученных образцов методом комбинационного рассеяния света (КРС);

5) изучение состава облученных образцов методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДА);

6) анализ полученных результатов и описание процессов, происходящих при облучении исследуемой двухслойной структуры.

Были получены следующие результаты:

- при изучении процессов, происходящих при воздействии инфракрасного лазерного излучения на структуру кремний/алюминий на полиимидной подложке было выделено до семи областей, отличающихся по своей структуре и составу;

- предложено объяснение процессов, происходящих при воздействии излучения на структуру Al/Si, которое подтверждается проведенными исследованиями.

#### **Список использованных источников**

1 Schinke, C. Uncertainty analysis for the coefficient of band-to-band absorption of crystalline silicon / C. Schinke [et al.] // AIP Advances. – 2015. – № 5. – P. 67168-67173.

2 Vogt, M. R. Development of physical models for the simulation of optical properties of solar cell modules / M. R. Vogt. – Hanover : Gottfried Wilhelm Leibniz University of Hanover, 2015. – 154 p.

3 Поляков, Д. С. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Физико-химические процессы в конденсированных средах, инициированные лазерным нагревом : учебное пособие / Д. С. Поляков, А. А. Шамова, Г. Д. Шандыбина. – СПб. : Университет ИТМО, 2023. – 100 с.