

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 533.9

Григорук  
Николай Андреевич

Прецизионные методы оперативного контроля толщины тонких пленок в  
процессе их создания

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и  
наноматериалы (в электронике)»

Научный руководитель  
Родионов Юрий Анатольевич  
канд. техн. наук, доцент

Минск 2018

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Тонкие пленки металлов, диэлектриков и полупроводников находят широкое применение в различных областях науки, техники и, прежде всего в микро- и наноэлектронике. Их роль в научно-техническом прогрессе чрезвычайно велика. Важнейшие задачи, решаемые пленочным материаловедением, – получение пленочных материалов с широким спектром электрофизических и механических свойств, а также развитие методов синтеза пленочных систем с наперед заданными свойствами.

Тонкие пленки – это особый вид состояния конденсированного вещества. По своей структуре и свойствам они могут существенно отличаться от своих массивных аналогов. Физические процессы в тонких пленках протекают иначе, чем в массивных материалах. В результате чего они имеют характеристики, отличные от характеристик массивных образцов и позволяют наблюдать эффекты, не свойственные массивным образцам. Это обусловлено спецификой процесса их формирования: тонкие пленки получаются конденсацией молекулярных потоков вещества на поверхности твердого тела, называемого в этом случае подложкой.

Свойства тонких пленок являются производными их морфологии, атомной структуры, кристалличности и степени ее совершенства, которые, в свою очередь, определяются кинетикой процесса пленкообразования.

Однако, процесс формирования тонких пленок является сложным процессом, включающим процессы-компоненты: адсорбция, образование зародышей новой фазы, их рост, коалесценция и т.д. Кинетика каждого из этих процессов по-своему влияет на структуру тонких пленок. Получение пленочных систем с заранее заданными свойствами связано с проблемой управления этими процессами. Процесс роста пленки – это автоматизированный процесс, в котором каждую операцию постоянно контролирует набор датчиков и управление этим процессом связано с алгоритмами, опирающимися на получаемые с датчиков данные. Именно правильное описание таких алгоритмов, базирующихся на возможностях современных датчиков, даёт возможность создавать программы, автоматизирующие процесс роста пленки и контролирующие их качество.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Актуальность работы связана с необходимостью постановки и экспериментального изучения различных методов используемых при контроле толщины пленки во время ее роста при получении субмикронных и наноразмерных пленок, применяемых в нано- и оптоэлектронике.

**Цель и задачи исследования.** Экспериментальное изучение алгоритма построенного на различных методах применяемых при контроле толщины пленки во время её роста, апробация методов исключающих системные ошибки, а также подбор подходящего аппроксимирующего метода. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение теоретических аспектов физических основ частотного и оптического датчика.
2. Изучение технических характеристик различных датчиков используемых при контроль толщины пленки.
3. Разработка новых и изучение используемых методик, режимов и алгоритмов для автоматизации процесса расчета и контроля толщин пленок.
4. Апробация модели построенной на полученном в итоге алгоритме использующим исследованные методы, на данных взятых при формировании пленок оксида индия-олова (ИТО)

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является разработанный алгоритм включающий комплекс методов измерения тонких пленок, применяемых во время их роста. Предметом исследования являются полученные зависимости и закономерности выявленные при использовании тех или иных методов исключения системных ошибок.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Влияние на измерения толщины пленки в процессе её роста отношения объема формирующегося слоя от общего объема пленки.
2. Определены наиболее важных параметров, влияющие на измерения толщины пленки и приводящих в измерения наибольшее количество системных ошибок.

Также приведены факты, определяющие актуальность и интенсивное развитие данной технологии для формирования тонких пленок.

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Анализ основных аспектов процессов формирования тонких пленок проводились соискателем лично. Разработка модели, алгоритма и определенных методов измерения толщин пленок проводились совместно с научным руководителем кандидатом технических наук, доцентом Родионовым Ю. А.

**Публикации.** Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 2 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 30 наименований. Общий объём диссертации составляет 75 страниц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены преимущества применения измерения тонких пленок процессе их роста.

В **первой главе** описаны физические основы частотного и оптического датчиков. Описаны законы на работе которых построены датчики.

Во **второй главе** описаны технические характеристики используемых датчиков, схемы их расположение в установках, физические размеры основных рабочих элементов.

В **третьей главе** представлен алгоритм для автоматизации процесса расчета толщин пленок. Описаны возможные варианты распределение измеряемой величины. Представлен уровень влияние фазы состояния. Описан метод аппроксимации результаты измерения.

В **четвертой главе** для моделирования алгоритма представлена реализация в виде программы на которой впоследствии апробированы данные и получены графики зависимости толщины от времени, просчитанные собственным алгоритмом.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над магистерской диссертацией были изучены физические основы двух различных типов датчиков. Были рассмотрены основы пьезоэлектрического эффекта, типы его проявления, материалы, обладающие этим эффектом и основные законы, описывающие его. Также был рассмотрен метод эллипсометрии и основные модели, описывающие в разной степени сложности данный метод. Рассмотрена природа поляризации света и закономерности, связанные с ней.

Во второй главе представлена техническая характеристика двух датчиков. Один из них является примером датчика, работающего на пьезоэлектрическом эффекте. Другой – датчик способный измерять толщину образца, используя метод эллипсометрии. Благодаря такому описанию технической характеристики датчиков, появилась возможность рассмотреть условия, при которых датчики теряют чувствительность и точность, что в последствии отражено в построенном алгоритме.

В третьей части работы, был представлен алгоритм, предназначенный для автоматизации процесса измерения толщины пленки в процессе её роста. Описаны математические формулы, лежащие в основе методик измерения толщин с помощью изученных датчиков. Были учтены наиболее распространенные системные ошибки автоматического измерения толщины пленки и подобран оптимальный аппроксимирующий фильтр.

В четвертой части работы был смоделирован алгоритм на языке Python и продемонстрирована его работа на основе данных напыления одного из наиболее широко используемых прозрачных проводящих окислов.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

[1-А] Аппроксимация результатов контроль поверхности материалов и их толщин в плазме атмосферного разряда / Григорук Н.А. //IX Международная научно-техническая конференция «Микро- и нанотехнологии в электронике». – Россия, Нальчик, 2017 – С. 91–93.

[2-А] Влияние фазы состояния поверхности пленки на измерение её толщины. / Григорук Н.А.// XXIV Международная научно-практическая конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Физика конденсированного состояния». – 2017. – Гродно : ГрГУ, 2017 – С. 110–113.