

Плёнки с регулируемым оптическими и электрофизическими параметрами

**Борисов И. С., Концевой Ю. А., Митрофанов Е. А., Симакин С. Б.,
Крячков В. А.**

Предложенные методы формирования плёнок посредством магнетрона и источника ионов позволяют регулировать составы плёночных структур, а также другие параметры, например, электропроводность, показатель преломления, коэффициент экстинкции. Особенность этих технологий в том, что можно сформировать плёнку с предварительно заданными значениями параметров в широком диапазоне этих значений. Показатель преломления плёнок на основе Ti изменялся в диапазоне 1.70...2.45. Удельное сопротивление плёночных структур изменялось от удельного сопротивления металла до удельного сопротивления изолятора. Алмазоподобные углеродные, Si_xC_y , Si_xO_y , $Si_xO_yN_z$ и другие виды плёночных структур были получены посредством источника ионов с холодным катодом непосредственно с помощью пучка ионов. Показатель преломления изменялся в диапазоне 1.40...2.65. Предложен лазерный метод регистрации момента окончания процесса формирования прозрачных плёнок при достижении требуемой толщины. Аппаратура для лазерного сканирования поверхности пластин и полупроводниковых структур использовалась для контроля однородности параметров плёнок по диаметру пластин, на которые наносились плёнки.

Введение

Промышленные технологии создания многослойных покрытий включают операции по созданию структур из нескольких слоёв, причём каждый из них обладает определённым значением показателя преломления и неизменным составом.

Современные технологии формирования многослойных покрытий включают процессы нанесения в вакууме, например, катодное распыление, термическое испарение в реактивной среде, распыление электронным пучком. Известные технологии дают возможность создавать плёнки с различными, но неизменными по величине показателями преломления. Они не позволяют регулировать величину показателя преломления и другие свойства плёнок [1].

Для контроля однородности распределения толщины по поверхности полупроводниковых плёночных структур применяются сканирующие системы [2, 3].

Цель работы: разработка технологии создания плёнок, которая даёт возможность регулировать оптические, электрофизические и другие свойства плёночных структур, исследование однородности плёнок, а также создание способа регистрации момента окончания процесса нанесения прозрачных плёнок с помощью лазера.

Оборудование и методика

Эксперименты по нанесению плёнок выполняли на промышленной установке ионно-плазменной обработки, которая была изготовлена на основе высоковакуумного агрегата МЗ 300.000. К смотровым окнам подсоединяли источник ионов с холодным катодом и магнетронное распылительное устройство с постоянным магнитом модели МАГ5. К одному из окон подсоединялась система регистрации момента окончания процесса нанесения прозрачных плёнок с помощью лазера с ИК-лучом. Объём

технологической камеры откачивался с помощью турбомолекулярного насоса 01AB 1500-004. Типовые держатели и образцы были помещены на диске карусели, который мог вращаться вокруг центральной вертикальной оси. Толщина плёнок и показатель преломления измерялись с помощью эллипсометра ЛЭМ-2М. Измерения прозрачности в ИК области выполнялись с помощью спектрофотометра модели UR-20 фирмы “Карл Цейс”. Схема вакуумной установки представлена на рис. 1.

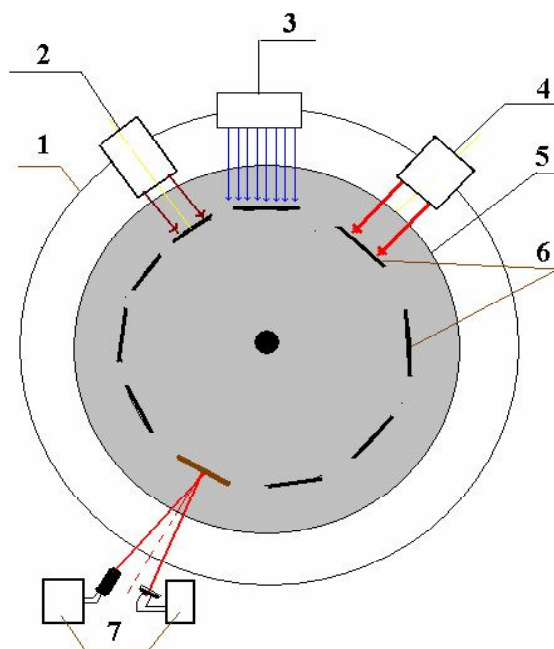


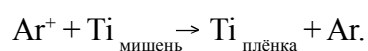
Рис. 1.

Схема установки ионно-плазменной обработки с лазерным контролем момента окончания процесса нанесения прозрачных плёнок:

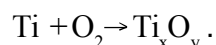
- 1 - технологическая камера; 2 - источник ионов; 3 - магнетрон; 4 - источник ионов; 5 - диск карусели; 6 - образцы; 7 - лазерная система регистрации момента окончания процесса

Формирование плёнок с помощью магнетронного распылительного устройства

В работе использовались мишени следующих составов: титана, алюминия, меди, медного и цинкового сплавов, цинка и цинка, легированного алюминием. Если использовался чистый аргон как рабочий газ в вакуумной камере, это приводило к образованию непрозрачных плёнок титана посредством бомбардировки титановой мишени ионами аргона в соответствии с соотношением



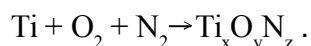
Распылённые атомы, осаждённые на поверхности подложки, формировали непрозрачную плёнку металлического титана. Если была использована смесь аргона и небольшой примеси кислорода, например 95% аргона + 5% кислорода, то получалась плёнка Ti_xO_y с показателем преломления $n = 2,45$. Реакция соответствовала соотношению



Увеличение концентрации кислорода в смеси рабочего газа до 20% (80% аргона + 20% кислорода) уменьшает показатель преломления до 2,05. Кроме того, такие плёнки приобретают свойства изолятора.

Подача газовой смеси $\text{O}_2 + \text{N}_2$ (например, подача воздуха) ведёт к образованию

оксинитридных плёнок с изолирующими свойствами и с показателем преломления 1,7. Процесс происходит в соответствии с реакцией



Предварительные результаты формирования плёнок титана и исследования их свойств сведены в таблицу. Толщина сформированных плёнок изменялась в диапазоне от 50 до 500 нм.

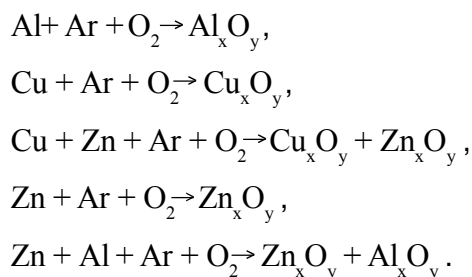
Таблица

Свойства плёнок, полученные при использовании титановой мишени

№	Состав газа	Состав плёнки	Показатель преломления, n	Прозрачность в диапазоне 2-10мкм	Электропроводность
1	Ar	Ti	непрозрачная	непрозрачные	металлическая
2	Ar + O ₂ (95% Ar + 5% O ₂)	Ti _x O _y	2.45	непрозрачные	электропроводящая
3	Ar + O ₂ (80% Ar + 20% O ₂)	Ti _x O _y	2.05	прозрачные	изолятор
4	Ar + O ₂ + N ₂ (Ar + воздух)	Ti _x O _y N _z	1.7	прозрачные	изолятор

Сведенные в таблицу плёнки №3 и №4 могут использоваться как просветляющие покрытия на поверхности солнечных батарей, а также фотоприёмников, которые работают в ИК-диапазоне спектра.

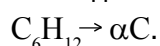
Предварительные исследования показали, что получаются аналогичные результаты, если использовать мишени на основе Al, Cu, сплава Cu + Zn, Zn, Zn + Al. При этом состав плёнок определяется реакциями:



Регулировка состава газов дала возможность изменять электропроводность, прозрачность, показатель преломления и другие свойства плёнок. Преимущество этой технологии - возможность использовать только одну мишень и, изменяя состав рабочего газа, получать плёнки с различными параметрами.

Формирование плёнок посредством источника ионов

Применение циклогексана (C₆H₁₂) позволило получать твёрдые алмазоподобные плёнки с малым содержанием водорода и показателем преломления n ~ 2,45 путём осаждения аморфной алмазоподобной пленки (αC) непосредственно из пучка ионов:

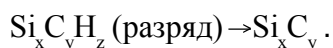


Эти плёнки очень твёрдые, химически инертные при взаимодействии с кислотами и щелочами; их показатель преломления n ~ 2,45 и структура может быть изменена посредством изменения состава рабочего газа и режимов работы источника ионов.

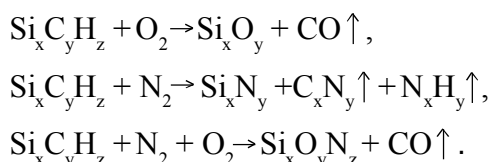
Кремнеорганические соединения в качестве рабочих газов, особенно их смеси

с другими реактивными газами, позволяют получать большое разнообразие составов плёнок и наноструктур.

Если использовалось только одно кремнеорганическое соединение, чтобы сформировать пучок ионов, то можно получать плёнки Si_xC_y :



Использовались также различные смеси рабочих газов для формирования плёнок. Их формирование определяется реакциями:



Показатель преломления таких плёнок изменялся в диапазоне 1,40 ... 2,65.

Такая технология очень полезна при производстве многослойных структур, так как возможно активно регулировать параметры отдельных плёнок в течение процесса в нестабильных условиях и получать многослойную структуру с требуемыми параметрами.

Предложенный лазерный метод регистрации момента окончания процесса нанесения прозрачных плёнок при достижении заданной толщины основан на использовании эталонного образца, размещённого на карусели, и контроля интенсивности отражения лазерного излучения от этого образца в процессе получения плёнок. Эталонный образец принимает участие во всех стадиях процесса нанесения вместе со всеми другими образцами. Разработана вычислительная программа, которая учитывает интенсивность сигнала отражённых лазерных лучей как функцию толщины и показателя преломления плёнки, нанесённой на поверхности рабочего и эталонного образцов. Это оборудование совместимо с персональным компьютером (ПК) и может использоваться для различных видов плёнок.

Однородность распределения толщины по площади образцов контролировалась при использовании лазерного сканирования пластин [3]. Этот метод и аппаратура позволяют измерять параметры в 10000 точках на площади 100x100 мм². Сигнал отражается от поверхности плёнки и попадает на фотодиод, далее поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Посредством АЦП аналоговый сигнал преобразовывается в цифровой код, который является эквивалентом аналоговому. Затем цифровой код аналогового сигнала поступает на вход платы центрального процессора, который анализирует данные. Время измерения одного образца составляет две минуты. Данные после измерения передаются в блок памяти, затем они обрабатываются и отображаются на экране монитора персонального компьютера. Там численные значения представлены в виде условных цветов (рис. 2).

Эта система может использоваться для анализа распределения однородности толщины плёнок на поверхностях полупроводников, металлов и других видов материалов и изделий, причём могут контролироваться как тонкие (менее 1 мкм), так и толстые плёнки любой толщины.

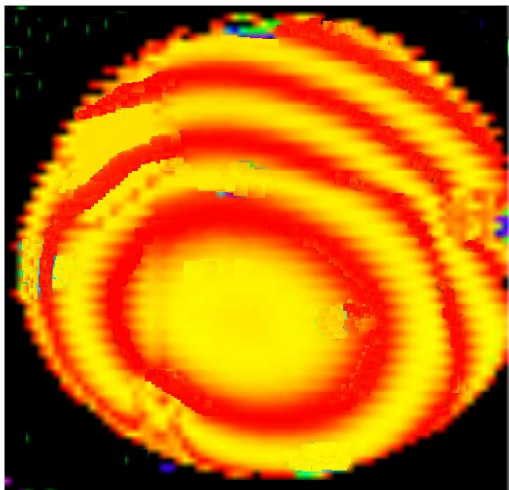


Рис. 2.

Неоднородность толщины алмазоподобной плёнки
(толщина плёнки порядка 2 мкм)

Выводы

Предложены технологии формирования плёнок с регулируемыми параметрами с помощью магнетрона и источника ионов.

Предложен лазерный метод регистрации момента окончания процесса нанесения прозрачных плёнок.

Проведены исследования электропроводности плёнок. Приведены примеры контроля однородности плёнок посредством лазерного сканирования.

Литература

1. Дж. Т. Хокс, Г. Хасс. Просветляющие покрытия для видимой и инфракрасной областей спектра / Сборник "Физика тонких плёнок" - М.: Мир, 1967, т.2, с. 186-254.
2. Енишерлова К. Л. Методы контроля дефектов в полупроводниковых материалах и структурах на их основе / Обзоры по электронной технике. Сер 1. СВЧ Техника. - М.: РАСУ, вып. 3, 2003, 177 с. ил.
3. Акинин В. Е., Концевой Ю. А., Максимов Ю. А., Старцев С. Ю. Аппаратура для контроля полупроводниковых структур методом оптического сканирования. - Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы, вып 1, 2007, с.90-94.