

**ВЛИЯНИЕ ТИПА МИШЕНИ МАГНЕТРОННОГО ДИОДА НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ПЛЁНОК КРЕМНИЯ**

Д.Е. Бельгебаева

Научный руководитель: ст. преподаватель НОЦ Вейнберга ИЯТШ, Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 30, 634050

E-mail: [dilya\\_1995.95@mail.ru](mailto:dilya_1995.95@mail.ru)**INFLUENCE OF THE TYPE OF TARGET OF THE MAGNETRON DIODE ON THE  
OPTICAL PROPERTIES SILICON FILM**

D.E. Belgebaeva

Scientific Supervisor: sen. lecturer, TPU, D.V. Sidelev

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [dilya\\_1995.95@mail.ru](mailto:dilya_1995.95@mail.ru)

***Abstract.** Silicon films were obtained by magnetron sputtering of Si targets with Al and P dopants. There is shown higher deposition rates (up to 30%) for Si(P) coatings that is caused by higher sputtering yield.. These films are more transparent in comparison with Si(Al) films in visible range.*

**Введение.** Плёнки кремния широко востребованы для создания оптических фильтров, они используются в качестве тонких защитных и барьерных слоёв. Для их получения используют методы газофазной и молекулярно-лучевой эпитаксии, магнетронного распыления. Преимуществом магнетронных распылительных систем (МРС) является большое количество рабочих параметров (мощность, давление, ток на подложку, схема электрического питания и пр.), правильный выбор которых обеспечивает получение тонких плёнок с заданными функциональными свойствами [1]. Однако, при магнетронном распылении желательно использовать легированный кремний, который имеет более низкое удельное сопротивление, чем особо чистый кремний [2]. Введение В, Al или In в Si приводит к формированию дырочной проводимости, а легирование Р или As – электронной проводимости. В общей практике используют кремний, легированный алюминием, т.к. Al, как примесь, содержится в исходной руде, из которой добывают Si. Для легирования кремния фосфором его облучают в потоке тепловых нейтронов (нейтронное-трансмутационное легирование). Поэтому необходимо получить данные о влиянии типа мишени (легированной Al или Р) на параметры процесса их распыления и оптические свойства плёнок Si, осаждённых в плазме магнетронного диода.

**Экспериментальная часть.** Для проведения исследований использовались мишени из кремния, легированного Al и Р. Кристаллическая структура мишеней изучалась методом рентгеновской дифракции (XRD) с использованием Shimadzu XRD-7000S в конфигурации Брэгга-Брентано с CuK $\alpha$ -трубкой (40 кВ, 30 мА). Диапазон сканирования составлял 20–90° с шагом экспозиции 0,03°. Фазовый состав рассчитывали с использованием базы данных ICDD 4+. Осаждение плёнок Si производилось на установке плазменного осаждения с помощью магнетронной распылительной системы (МРС) в среде Ar при давлении 0,25 Па. Предварительно, мишень распылялась в течении 1 минуты для очистки её

поверхности от окислов, далее производилось напыление. Покрытия, наносились на подложки из предметного стекла и GaAs. Параметры напыления образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры напыления плёнок кремния

| Тип мишени         | Si (Al) | Si (P) |
|--------------------|---------|--------|
| Толщина плёнок, нм | 5-250   | 5-250  |
| $U$ , В            | 681     | 748    |
| $I$ , А            | 0,63    | 0,54   |
| $W$ , кВт          | 0,4     |        |
| $\vartheta$ , нм/с | 0,1     | 0,13   |

Контроль толщины плёнок осуществлялся при помощи кварцевого измерителя толщины «МИКРОН-5». Определение спектров пропускания света производилось на спектрофотометре СФ-2000.

**Результаты.** На рисунке 1 представлены дифрактограммы мишеней из Si, легированного Al и P. Видно, что обе мишени имеют одинаковую кристаллографическую ориентацию ( $29,09^\circ$ ) – вдоль направления Si (111). Мишень из Si(P) имеет малоинтенсивный рефлекс на угле ( $59,15^\circ$ ), который соответствует фазе SiP<sub>2</sub>.

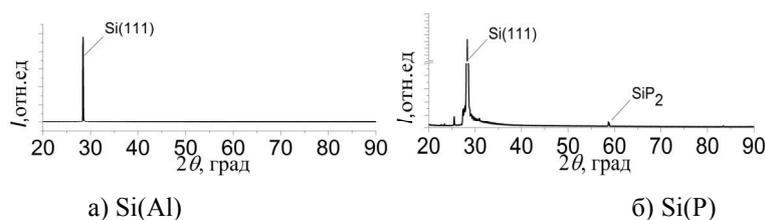


Рис. 1. Дифрактограммы Si мишеней

На рис. 2 показаны вольт-амперные характеристики (ВАХ) магнетронов с Si(Al) и Si(P) мишенями.

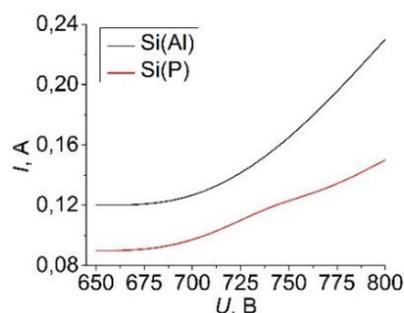


Рис. 2. ВАХ магнетронных диодов с Si(Al) и Si(P) мишенями

Наблюдается подобное линейному снижению тока разряда при уменьшении рабочего напряжения в диодной системе при распылении обоих типов мишеней. Такой вид ВАХ характерен для распыления материалов в среде инертного газа. Более низкий рабочий ток диода при распылении Si(P) мишени, по всей видимости, обусловлен меньшим коэффициентом вторичной ион-электронной эмиссии.

Согласно данным в таблице 1 скорость осаждения Si плёнок выше на 30 % при распылении кремниевой мишени, легированной фосфором. Факторы, которые могут влиять на скорость осаждения - электрические параметры диода и коэффициент распыления материала мишени.

Расчёт скорости распыления нелегированной Si мишени был произведён по формуле 1:

$$V_{\text{расп}} = \frac{N_{\text{расп}}}{t}, N_{\text{расп}} = N_{\text{ион}} \cdot Y, N_{\text{ион}} = \frac{I \cdot t}{q}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{расп}}$  – количество распыленных частиц (шт);  $t$  – время распыления (с);  $N_{\text{ион}}$  – количество ионов, попавших на мишень (шт);  $Y$  – коэффициент распыления ( $\frac{\text{ат}}{\text{ион}}$ );  $I$  – ток разряда (А);  $q$  – заряд электрона.

Используя экспериментальные данные по напряжению разряда с помощью программы SRIM, были рассчитаны коэффициенты распыления нелегированной Si мишени ионами Ar [4]:  $Y_{\text{Si(Al)}} = 0,5348 \frac{\text{ат}}{\text{ион}}$ ;  $Y_{\text{Si(P)}} = 0,5206 \frac{\text{ат}}{\text{ион}}$ . На основе этого определены скорости распыления ( $1,76 \cdot 10^{18}$  и  $2,05 \cdot 10^{18}$  атомов/с) кремниевой мишени при параметрах распыления Si(P) и Si(Al) мишеней, соответственно. На практике скорость распыления мишени Si(P) больше. Число ионов, бомбардирующих мишень, мы можем определить надёжно. Следовательно, разница в скоростях осаждения Si плёнок свидетельствует о том, что коэффициент распыления мишени Si(P) в действительности больше, чем Si(Al) мишени.

Получены спектры пропускания Si, толщиной 5...250 нм, в диапазоне длин волн от 0,4 до 1 мкм. На их основе определены интегральные коэффициенты пропускания ( $T_{\text{инт}}$ ), они показаны на рис. 3.

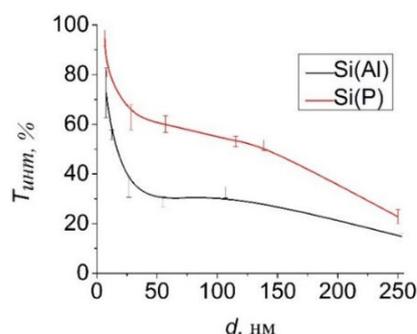


Рис. 3. Зависимость интегрального коэффициента пропускания Si плёнок от их толщины ( $d$ )

Плёнки Si(P) более прозрачны во всём диапазоне толщин. Единственной причиной, по которой плёнки Si(P) более прозрачные, чем плёнки Si(Al), может быть их различный химический состав.

**Заключение.** В данной работе были получены плёнки Si путём распыления кремниевых мишеней, легированных алюминием и фосфором. Получено, что скорости осаждения плёнок кремния при распылении Si(Al) и Si(P) мишеней различны (разница ~в 30 %). Плёнки Si(P) являются более прозрачными по сравнению с плёнками Si(Al).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сиделёв Д.В. Осаждение покрытий из хрома и никеля с помощью магнетронного диода с «горячей» мишенью: Автореф. дис. ... канд. тех.наук. – Томск, 2018 – 22 с.
2. Aalto T., Olkkonen J. Optical Modeling of MEMS // Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies. – 2015. – № 11. – с.313–332.