

ФОРМИРОВАНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ МИШЕНЕЙ ИЗ КРЕМНИЯ И КВАРЦА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Гуревич О. В.

Достанко А. П. – академик, д. т. н., профессор

Ионно-лучевым распылением мишеней из кварца и кремния были получены диэлектрические покрытия (Si-O-C). Исследованы электро-физические и оптические характеристики полученных покрытий и их зависимости от параметров процессов нанесения.

В первой части работы нанесение покрытий осуществляли реактивным ионно-лучевым распылением мишени из кремния диаметром 70 мм и толщиной 10 мм на установке вакуумного напыления Z-400. Рабочими газами служили аргон, кислород и CH₄. Остаточный вакуум не превышал $4 \cdot 10^{-3}$ Па. Плёнки формировались на подложках из Si (111), стекла и стекла с плёнкой Al. Температура подложек варьировалась от 50 до 250 °С. Ускоряющее напряжение составляло 3 кВ, ток разряда – (40-80) мА. Давление кислорода поддерживалось на уровне $5,3 \cdot 10^{-2}$ Па, аргона - $8 \cdot 10^{-2}$ Па.

Для измерения электрофизических параметров использовались МДП - структуры. Тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость определяли на цифровом измерителе L, C, R E7-8. Толщина покрытий определялась с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4.

Режимы нанесения и результаты исследований приведены в таблице 1.

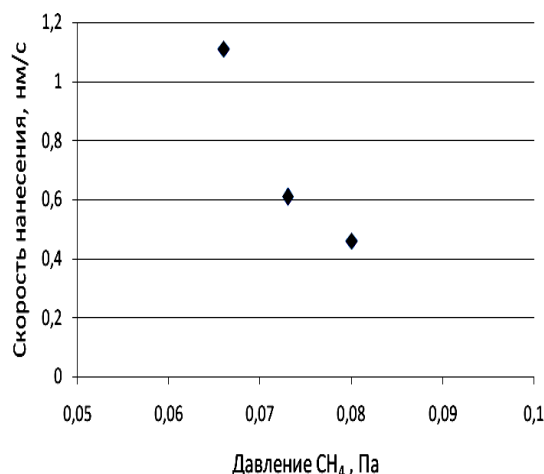
Зависимость скорости нанесения покрытий от давления CH_4 представлена на рис.1.

Таблица 1

Режимы нанесения и результаты измерений покрытий из Si-O-C, полученных распылением мишени из кремния

| N образца | Давление CH_4 , Па | Ток разряда, мА | Температура подложки, °С | Скорость нанесения, нм/с | Толщина покрытия, мкм | Диэлектрическая проницаемость | Тангенс угла диэлектрических потерь |
|-----------|-----------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 0 | 60 | 50 | 1,26 | 0,53 | 3,2 | 0,0856 |
| 2 | $6,6 \cdot 10^{-2}$ | 60 | 50 | 1,11 | 0,4 | 2,64 | 0,1065 |
| 3 | $7,3 \cdot 10^{-2}$ | 60 | 50 | 0,61 | 0,22 | 1,43 | 0,0857 |
| 4 | $8 \cdot 10^{-2}$ | 50 | 50 | 0,46 | 0,22 | 1,61 | 0,1580 |
| 5 | $6,6 \cdot 10^{-2}$ | 75 | 150 | 0,74 | 0,31 | 3,94 | 0,0157 |
| 6 | $6,6 \cdot 10^{-2}$ | 80 | 200 | 0,60 | 0,25 | 1,81 | 0,0577 |
| 7 | $6,6 \cdot 10^{-2}$ | 40 | 250 | 1,62 | 0,68 | 4,26 | 0,0021 |

Покрытия, нанесённые на подложки при $T \leq 50^\circ\text{C}$ отслаивались, что можно объяснить высоким уровнем механических напряжений. Покрытия были прозрачны в видимом диапазоне.

Рис.1 Зависимость скорости нанесения покрытий от давления CH_4 .

Проанализировав полученные результаты можно сделать следующие выводы: с увеличением давления CH_4 скорость нанесения покрытий уменьшается, что можно объяснить меньшим коэффициентом распыления углерода и водорода по сравнению с аргоном. Диэлектрическая проницаемость также уменьшается, что можно объяснить замещением связей Si-O связями Si-C и Si- CH_3 . С увеличением температуры подложки до 200°C диэлектрическая проницаемость снижается от 3,94 до 1,81, однако при нагреве свыше 200°C ϵ начинает расти до 4,26 возможно из-за выгорания углерода в покрытие.

Таким образом, метод реактивного ионно-лучевого распыления мишени из кремния при определённых режимах ($T_{\text{П}} \leq 50^\circ\text{C}$, $P_{\text{CH}_4} = (6,6 - 8,0) \cdot 10^{-2}$ Па) позволяет получать покрытия Si-O-C с низким значением диэлектрической проницаемости (1,43 – 3,94) и тангенса угла диэлектрических потерь (10^{-2}), которые могут использоваться в качестве межуровневых диэлектриков СБИС.

Во второй части работы нанесение покрытий осуществляли ионно-лучевым распылением мишени из кварца диаметром 70 мм и толщиной 10 мм. Рабочими газами служили CH_4 и Ar. Остаточный вакуум не превышал $2,6 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.

Плёнки формировались на подложках из кремния p-типа, на плёнках алюминия и меди, на стеклах К8 и ТФ-5. Температура подложек варьировалась от 80 до 300°C .

Для поддержания устойчивого разряда использовался термокомпенсатор из вольфрама.

Скорость нанесения находилась в пределах (0,18 – 0,29) нм/с. Ускоряющее напряжение составляло 4 кВ, ток разряда – (50 - 56) мА, ток компенсатора $I_{\text{К}}=16$ А.

Для измерения электрофизических параметров использовались МДП - и МДМ – структуры. Тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость определяли с помощью прибора E7 – 8, были получены следующие значения:

$$\epsilon = 2,24;$$

$$\text{tg}\delta \approx 10^{-3} - 10^{-4}.$$

С увеличением содержания CH_4 в рабочем газе диэлектрическая проницаемость несколько уменьшается (2,18).

Толщина покрытий определялась с помощью микроскопа МИИ-4 и её среднее значение составило 0,135 мкм.

Проверку на адгезию осуществляли методом нормального отрыва для покрытий на кремнии и металлических плёнках. Величина адгезии находилась в пределах 5,1 – 5,3 МПа.

Следует отметить, что углеродсодержащие диэлектрические покрытия чаще всего получают методом химического осаждения из газовой фазы, однако это связано с определёнными трудностями. Такие плёнки сильно адсорбируют воду, что является недопустимым для межуровневого диэлектрика. Поэтому в наших исследованиях мы использовали метод реактивного ионно-лучевого распыления мишеней.[1]

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные нами покрытия могут быть использованы в качестве диэлектриков в межуровневой металлизации. Покрытия обладают достаточно низкими значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Список использованных источников:

1. Максиль О.В. Исследование диэлектрических плёнок на основе оксида кремния, легированного фтором и углеродом // Тезисы докладов 16-й Всероссийской межвузовской НТК «Микроэлектроника и информатика - 2009», Москва, 2009 – с. 56.