**Получение тонких пленок аморфного кремния**

**С.С. Великасов, В.М. Лелевкин, В.П. Макаров, С.А. Паров**

*Кыргызско-Российский Славянский университет, Кыргызыстан,*

*720000, г. Бишкек, ул. Киевская 44.* [*aral@krsu.edu.kg*](mailto:aral@krsu.edu.kg)

Разработана технология получения тонких пленок аморфного кремния методом магнетронного распыления. Определен фазовый состав и морфологиятонких пленок кремнияв зависимости от расстояния до подложки и конфигурации магнитного поля.

**Ключевые слова:** кремний, магнетрон, аморфные пленки, морфология

При напылении кремния с помощью магнетронных установок на подложке формируются однородные аморфные пленки толщиной от 10 нм до 10 мкм. Высокая скорость распыления достигается увеличением плотности ионного тока за счет локализации плазмы у распыляемой поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля [1- 3].Основными элементами устройства являются катод-мишень, анод и магнитная система. Расположенная между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, поверхность мишени интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы.

При подаче постоянного напряжения между мишенью (катод) и анодом возникает неоднородное электрическое поле и возбуждается аномальный тлеющий разряд. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности мишени позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у её поверхности. Под действием ионных ударов электроны, эмитированные с поверхности катода, движутся в магнитном поле по сложным циклоидальным траекториям от поверхности мишени, сталкиваются с атомами рабочего газа и теряют энергию, полученную от электрического поля. Большая часть энергии электрона, прежде чем он попадет на анод, идет на ионизацию и возбуждение атомов, что увеличивает эффективность процесса образования концентрации положительных ионов у поверхности катода. Это в свою очередь, приводит к увеличению интенсивности ионной «бомбардировки» поверхности мишени и значительному росту скорости распыления, а следовательно, и скорости осаждения пленки на поверхность подложки.

Одним из преимуществ магнетронных распылительных систем является то обстоятельство, что захват вторичных электронов магнитной ловушкой у поверхности мишени препятствует интенсивному перегреву подложки. Это позволяет увеличить скорость распыления материалов и их осаждения на поверхность подложки. Источниками нагрева подложки служат энергия конденсации распыленных атомов, кинетическая энергия осаждаемых атомов, энергия отраженных от мишени нейтрализованных ионов и излучение плазмы. Энергия конденсации соответствует 3–9 эВ/атом, энергия излучение плазмы 2–10 эВ/атом, кинетическая энергия, в зависимости от распыляемого материала, составляет, например, для алюминия 5 эВ/атом, а для вольфрама 20 эВ/атом.

Экранирование слабо распыляемых участков мишени улучшает свойства получаемых пленок [1,3-4]. При изготовлении чувствительных к радиационным воздействиям приборов целесообразно дополнительно улавливать летящие в сторону подложки ионы, которые образуются в результате ионизации распыленных атомов мишени. В этом случае над поверхностью положительного анода устанавливается дополнительный отрицательный электрод. Это позволяет распылять достаточно «толстые» мишени [3,4]. После распыления половины материала мишени она переворачивается и производится распыление остальной части, что обеспечивает повышение коэффициента использования материала мишени вплоть до 90%.

С коэффициентом использования распыляемого материала тесно связана проблема равномерности распыления мишени. Существуют два способа перемещения магнитного поля по поверхности мишени: электромагнитный и механический. В первом случае вокруг мишени устанавливается электромагнит, который создает дополнительное переменное магнитное поле, нормальное к поверхности мишени. Использование дополнительного переменного поля приводит к деформации основного поля: вершина арки сдвигается от средней линии, в результате этого происходит симметричное смещение зоны максимальной эрозии, а профиль распыления становится почти прямоугольным. Равномерность распыления мишени значительно увеличивается, при использовании многоячеистой электромагнитной системы, питающейся от сети переменного тока.

Для напыления тонких однородных пленок разработан новый тип магнетрона. Магнетрон помещен в высокочастотное электромагнитное поле, которое позволяет существенно увеличить скорость напыления материала на подложку без осаждения крупных частиц. Тонкие однородные пленки α-кремния получаются методом магнетронного распыления и наложением СВЧ электромагнитным полем в тлеющем разряде. Во избежание загрязнения подложки, все работы проводятся после получения вакуума в среде аргона. Для получения сконцентрированного пучка ионов разработана специальная фокусирующая система, позволяющая получать пучок ионов направленный на рабочую поверхность подложки.

Отработана технология получения тонких аморфных пленок с заданными параметрами: однородные по толщине от 10 нм до 10 мкм и структурой α-Si. Для выявления структуры напыляемых пленок проводились исследования их фазового состава на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2. Толщина напыляемого слоя определяется с помощью измерителя толщины пленки в процессе напыления, а по окончанию процесса- на сканирующем электронном микроскопе BS-301 с встроенной электронной линейкой. Как показалирезультаты экспериментальных исследований, получаемая поверхность пленки кремния является аморфной (рис.1). При проведении лазерной (тепловой) обработки по поверхности пленки происходит образование кристаллической пленки кремния. Из дифрактограммы (рис.1) видно, что на поверхности аморфного кремния образуется пик монокристаллического кремния.

Разработан метод напыления однородных нано размерных пленок аморфного кремния в высокочастотном электромагнитном поле. Напыление производится при достаточно низких давлениях (5 – 15) торр. Из-за отсутствия эффекта накопления заряда при воздействии высокочастотного электромагнитного поля на поверхности мишени получаются тонкие однородные пленки кремния. Большинство ионов не мобильны в условиях высокочастотного напыления (5-30 МГц) в отличие от электронов, которые чувствительны к колебаниям прикладываемого потенциала.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Рис. 1.** Дифрактограмма с пленок кремния до воздействия лазерным лучом (слева)и после воздействия лазерным лучом (справа) | |

**Литература.**

1. **Francis F. Chen**. Industrial applications of low – temperatures plasma physics.

Phys. Plasmas vol. 2, n. 6, June 1995, pp. 2164 – 2175.

2. **Singh N., Kist R., Thiemann H.** Experimental and numerical studies on potential distributions in a plasma. Pl. Phys., vol. 22, 1980, pp. 695 – 707.

3. Плазменные ускорители. /Под общей редакцией **Л. А Арцимовича**. М.: Машиностроение, 1973.

4. **Данилин Б. С., Неволин В. К., Сырчин В. К**. Исследование магнетронных систем ионного распыления материалов. – Электронная техника. Серия Микроэлектронника, 1977, вып. 3 (69), с. 37 – 44.