

УДК 537.563.2

ИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Ефименко Владислав Александрович ⁽¹⁾, Алексей Дмитриевич Кушцов ⁽²⁾
*студент 3 курса ⁽¹⁾, аспирант 3 года ⁽²⁾,
Кафедра “Электронные технологии в машиностроении”
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: С.В. Сидорова,
кандидат технических наук, доцент кафедры “Электронные технологии в
машиностроении”*

В микро- и нанoeлектронике миниатюризация элементов полупроводниковых приборов требует высокой точности формирования структур, что предъявляет особые требования к состоянию поверхности подложек. Важным процессом является ионная обработка, позволяющая управлять параметрами поверхности на атомном уровне [1].

Шероховатость подложки непосредственно влияет на качество и геометрию осаждаемых слоев, что отражается на функциональных характеристиках изделий. Развитая поверхность приводит к ухудшению пленочных структур, увеличению рассеяния носителей заряда и росту паразитных эффектов. Применение ионно-плазменных методов позволяет значительно снизить шероховатость поверхности, обеспечивая ее высокую однородность. Гидрофильность поверхности подложки, определяет условия адгезии тонкопленочных покрытий. Ионное воздействие позволяет изменять поверхностную энергию материалов, улучшая смачиваемость или, наоборот, придавая поверхности гидрофобные свойства.

Таким образом, ионная обработка играет важную роль в производстве изделий нанoeлектроники, обеспечивая улучшенные физико-химические характеристики поверхности и повышая точность формирования наноразмерных структур.

Целью работы является определение энергетических параметров в процессе ионной обработки подложек в электронике.

Исследование воздействия ионной обработки выполнено с использованием вакуумной установки МВТУ-11-1МС в лаборатории кафедры МТ11 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Данная установка имеет автономный источник ионов, для обеспечения возможности проведения предварительной обработки поверхности и осаждения функционального покрытия в рамках единого вакуумного цикла [2].

Источник ионов представляет собой бессетчатый источник с холодным катодом ИК-023.000.000, который генерирует и испускает пучок ионов в форме цилиндра со слабым расхождением к конической форме. Принцип действия заключается в отборе ионов из разряда, возбуждаемого между анодом и катодными пластинами в скрещенных электрическом и магнитном полях. Ионы ускоряются в промежутке анодом и катодными пластинами и испускаются в направлении обрабатываемого изделия.

Можно выделить несколько факторов, влияющих на конечную энергию ионов. Начальная энергия ионов складывается из тепловой энергии, на которую влияет температура газа, и энергии ионизации. Потери энергии происходят из-за столкновения с другими атомами и ионами и взаимодействия со стенками источника и электродами. Многозарядность ионов также влияет на энергию, из-за чего она будет изменяться пропорционально. Геометрия источника, а именно форма и расположение электродов, определяют траекторию и фокусировку пучка, что также необходимо учитывать в расчете. Неоднородность электрического и магнитного полей, формирующих пучок,

оказывает воздействие на результат вычисления, в связи с чем необходимо применять другие математические методы.

Заряд, который приобретает ион, равен:

$$q = ne,$$

где n – кратность ионизации, e – элементарный заряд. Для простоты расчета примем $n = 1$.

Энергия, которую приобретают заряженные частицы при прохождении через ускоряющее напряжение равна:

$$E = qU,$$

где q – заряд иона, U – ускоряющее напряжение. Однако данное выражение будет справедливо только в идеальных условиях, когда поле однородно. Для реального поля будет необходимо провести интегрирование по всей длине перемещения:

$$E = q \int_0^L \bar{E} d\bar{l},$$

где \bar{E} – напряженность электрического поля, \bar{l} – перемещение [3].

Исходными данными для расчета являются: мощность, потребляемая источником ионов $P \leq 200$ Вт; ток разряда $I \leq 30$ мА; напряжение разряда $U \leq 3$ кВ; диаметр пучка 23 мм; рабочее давление $p = 0,05 \dots 0,1$ Па; зазор, который необходимо обеспечить при установке анода между анодом и внутренней поверхностью катодных пластин $x = 1,9 \dots 2,1$ мм.

В дальнейшей работе проведенный расчет энергетических параметров в процессе ионной обработки подложек будет использован для моделирования процесса обработки поверхностей подложек ионами аргона и оценки влияния ионов аргона на морфологию и стехиометрию поверхности подложки.

Литература

1. Панфилов Ю.В. Нанесение тонких пленок в вакууме // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – №. 3. – С. 76-80.
2. Kouptsov A.D., Maltsev V., Sidorova S.V. Reduction of Residual Stresses in Aluminum Oxide Films by Ion-Plasma Methods // 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). – IEEE, 2024. – С. 1-4.
3. Технология тонких пленок (справочник). Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Нью-Йорк. 1970. Пер. с англ. Под ред. М. И. Елинсона, Г. Г. Смолко. Т. 1. М., «Сов. радио», 1977, 664 с.