

УДК 621.79.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ТРАВЛЕНИЯ ИОННОГО ИСТОЧНИКА С АНОДНЫМ СЛОЕМ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ КРУГЛОЙ ФОРМЫ

Дмитрий Александрович Голованов, Денис Дмитриевич Васильев, Юлия Сергеевна Макарова,

Студенты 3 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.М. Моисеев,

кандидат технических наук., доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение

Для выполнения операций: ионное травление, очистка поверхности и ее активация, ионная имплантация, посредственное использование ионов для распыления материала, наносимого на подложку - в микро и нанoeлектронике используют ионные источники. Для обеспечения минимальной неравномерности обработки заготовки в промышленных условиях используются протяженные линейные источники ионов. Лабораторные установки, как правило, снабжены источниками ионов меньших размеров, поэтому отработка промышленной технологии может представлять некоторые трудности, связанные с равномерностью ионной обработки, что требует осуществления вращения подложки для повышения равномерности обработки. Экспериментальный метод подбора закона вращения подложки и измерение неравномерности обработки требует огромных временных и денежных затрат. Отсюда вытекает потребность в создании компьютерных моделей процессов травления. Удобнее описать данную модель математически.

Работа

Для моделирования взято предположение, что отклонение ионов по углу от нормали к поверхности источника ионов подчиняется нормальному закону распределения. В формуле (2), описывающей нормальный закон распределения, используется коэффициент σ (среднеквадратическое отклонение), который определяет ширину телесного угла, в котором находится большинство вылетающих ионов. Область вылета ионов из кольца источника ионов проецируется на плоскость подложки через телесный угол в область обратно пропорционально квадрату расстояния и прямо пропорционально косинусу угла между нормалью плоскости подложки и прямой потока ионов. Для нахождения значения ионного тока в точке на подложке используется интеграл по поверхности кольца источника ионов. Так как источник кольцевой, удобнее проводить расчет в цилиндрических координатах. По причине описания профиля ионного тока, максимальное значение которого из-за нормирования будет равно единице, постоянные коэффициенты в формуле опущены. В результате формула имеет вид:

$$j(Y) = \int_{R1}^{R2} \int_0^{2\pi} \frac{P(\alpha(R,\varphi,Y)) \cdot \cos(\theta)}{c(R,\varphi,Y)^2} \cdot R d\varphi dR, \quad (1)$$

где: Y – радиус точки на подложке, в которой измеряется ионный ток; R – радиус зоны эрозии, изменяется от $R1$ до $R2$; φ – угол интегрирования в цилиндрических координатах; α – угол вылета ионов из точечного источника; θ – угол падения иона; c – расстояние от единичного источника до рассматриваемой точки на подложке; j – ионный ток;

P – функция нормального распределения отклонения ионов от нормали поверхности источника ионов.

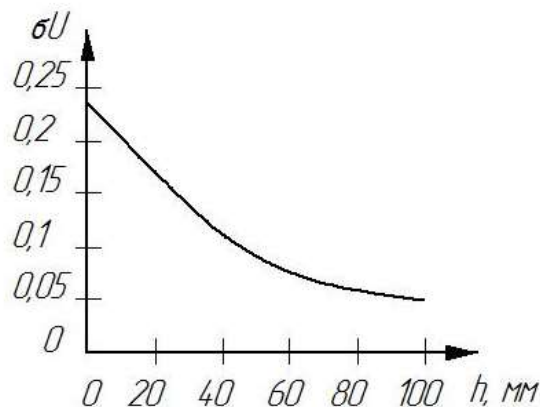
$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma U} \cdot \exp\left(\frac{-\alpha^2}{2(\sigma U)^2}\right) \quad (2)$$

Профиль травления связан с профилем ионного тока через коэффициент распыления. Умножение на значение коэффициента распыления, зависящего от угла падения иона (рис. 2), формулы внутри интеграла позволяет рассчитать профиль травления подложки.

Коэффициент отклонения от потенциала высчитывался с использованием среды MathCad. Для этого строился график распределения ионного тока по теоретической формуле, при этом коэффициент отклонения задавался произвольно. Методом интерполирования строился график, полученный в ходе эксперимента. Оба графика нормировались, причем график, полученный по экспериментальной зависимости, дополнительно сжимался (растягивался) по оси x так, чтобы пики обоих графиков оказались на одинаковом отдалении от оси симметрии. Далее методом наименьших квадратов производилось сравнение графиков (рис.8) и подбирался такой коэффициент отклонения, при котором различие между ними было минимальным.

Выводы

Коэффициент отклонения потенциала не зависит от ускоряющего напряжения. Зависимость коэффициента от высоты выражается графиком представленным на рисунке.



Анализ графиков ионного тока дал результаты (наличие центрального пика, сужение основных пиков к центру, сужение пучка непосредственно около источника), переводящие полученную модель в область недоверительного интервала. Для устранения недостатков модели необходимо учитывать следующие факторы. Возможную неоднородность ионного источника, рассматриваемого в теории как множество точечных, в радиальном направлении. Физические взаимодействия ионов друг на друга. Направление силовых линий электрического поля. Особенности конструкции источника. Все эти факторы в совокупности можно объединить в следующую картину движения ионов, которую следовало учитывать при моделировании: в силу конструктивных особенностей источника, ионы вылетают не перпендикулярно, а под углом к нормали, по направлению к центру источника; в результате кулоновских сил, стремящихся расширить пучок, и действия электрического поля, вектора напряженности которого предположительно направлены также под углом к нормали в направлении центра, изменяется угол под которым движутся ионы. В результате ионный пучок может иметь например форму конуса или гиперboloида.