

УДК 537.5; 537.525.99

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ШИРОКОАПЕРТУРНОГО ИСТОЧНИКА ВНЕЭЛЕКТРОДНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОЛЫМ КАТОДОМ

Лукичёв Д. С., Маркушин М. А., Столбинский Д. В., Колпаков В. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Увеличение размера полупроводниковых пластин, используемых в производстве полупроводниковых приборов микроэлектроники, приводит к необходимости разработки новых широкоапертурных источников плазмы. Устройства на основе газовых разрядов ВЧ, СВЧ и магнетронного типов имеют ряд существенных недостатков (неустойчивость резонансной частоты и постоянный контроль её величины, низкий ток ионов, наличие в устройстве ускоряющего электрода и др.), не позволяющих создавать потоки плазмы с равномерным распределением частиц по сечению больших размеров. Поэтому в настоящей работе предложено для генерации газоразрядной плазмы использовать высоковольтный газовый разряд (ВГР). Для уменьшения процесса распыления катода в конструкцию предлагаемого устройства генерации потока плазмы было предложено ввести полый катод (рис. 1). Источник низкотемпературной плазмы (ИНТП) с полым катодом содержит высоковольтный электрод 1, через который на полый катод 2 подается электропитание. В катоде выполнена полость диаметром  $d_0$  и глубиной  $L$ . Пустота катода закрывается сеткой 4. Полученная конструкция вставляется в корпус 8. Металлическая сетка-анод 6 накладывается на поверхность диэлектрического элемента 5 и на выступ в корпусе генератора 8. Металлическим кольцом 7 сетка-анод жёстко крепится к указанным выше элементам, осуществляя при этом электрический контакт с корпусом 8. Со стороны электрического ввода полость анода замыкается крышкой 9.

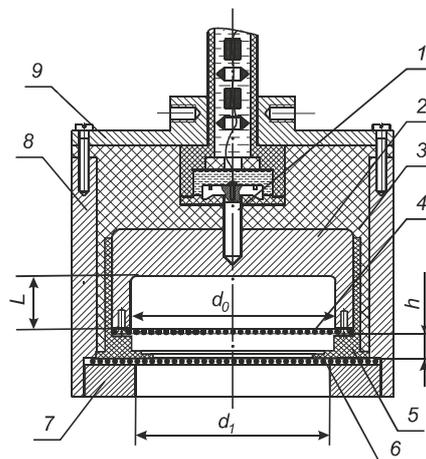


Рис. 1. ИНТП с полым катодом

Снижение температуры катода и скорости его распыления достигается путём использования процесса ионизации атомов рабочего газа в катодной полости. В зависимости от числа столкновений положительных ионов на пути к катоду их энергия будет изменяться согласно выражению:

$$E_n = E_{n-1} \left( 1 - \frac{4m_i M}{(m_i + M)^2} \right) + eU \left( 1 - \frac{2}{\pi} \arctg \frac{(h + n\lambda_i)}{2c} \right),$$

где  $n$  – номер соударения иона с атомом или молекулой в полости катода;  $E_{n-1}$  – энергия, набранная ионом перед столкновением  $n$ ;  $m_i$  – масса положительного иона;  $M$  – масса атома или молекулы в полости катода;  $\lambda_i$  – длина свободного пробега иона;  $e$  – заряд электрона;  $U$  – ускоряющее напряжение на электродах;  $c$  – постоянная, вычисляемая по методике.

Оптимальная глубина полости катода, при которой процесс распыления катода минимизируется, определяется выражением:

$$L = 2c \operatorname{tg} \left[ \frac{\pi}{2} \left( 1 - \left[ S_{k\lambda e} \varepsilon_b \frac{\pi^2 (m_i + M_k)^2}{3m_i M_k \alpha} - E_{n-1} \left( 1 - \frac{4m_i M}{(m_i + M)^2} \right) \frac{1}{eU} \right] \right) \right] - h,$$

где  $c$  – постоянная, вычисляемая известной по методике;  $S_{k\lambda e}$  – коэффициент распыления;  $\varepsilon_b$  – энергия сублимации атомов алюминия;  $m_i$  – масса положительного иона;  $M_k$  – масса атома материала катода;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от отношения массы иона к массе атома подложки;  $E_{n-1}$  – энергия, набранная ионом перед столкновением  $n$ ;  $M$  – масса атома или молекулы остаточной атмосферы в полости катода;  $e$  – заряд электрона;  $U$  – ускоряющее напряжение на электродах;  $h$  – расстоянием между анодом и катодом, равное 2,7 мм.

Результаты длительных испытаний ИНТП с полым катодом оптимальной глубины полости показали, что уменьшение процесса распыления катода позволило увеличить срок его службы до трёх лет. Предлагаемое устройство может быть использовано для очистки и травления поверхности подложек, широко применяемых в микроэлектронике.