

Немонотонная зависимость плотности плазмы от давления газа магнетронного разряда с мишенью из бора*

Г.Ю. Юшков¹, В.Г. Гридилов¹

¹ *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия*

Представлены результаты исследований магнетронного разряда с мишенью из бора при постоянном токе уровня 50 мА и давлении рабочего газа в диапазоне 0.1–2 мТорр. Экспериментально показано, что как в случае мишени из бора, так и в контрольных экспериментах с мишенью из меди наблюдается немонотонная зависимость плотности плазмы разряда от давления с минимумом плотности в области давления около 0.3 мТорр. Сделан вывод, что такая немонотонная зависимость обусловлена влиянием двух противоположных тенденций: уменьшения ионизации газа при снижении давления с 1.2 до 0.3 мТорр, при котором значительных изменений параметров разряда еще не происходит, и роста ионизации за счет повышения энергии и количества γ -электронов с катода (мишени), а также температуры электронов плазмы при резком увеличении напряжения горения разряда при дальнейшем снижении давления от 0.3 до 0.1 мТорр.

Ключевые слова: магнетронный разряд, плотность плазмы, зондовые измерения, борсодержащие покрытия.

Введение

Магнетронные распылительные системы постоянного тока [1] находят применение для нанесения на поверхность функциональных покрытий для решения различных задач электроники, оптики, машиностроения и других отраслей современного производства [2]. В настоящей работе приведены результаты исследований параметров плазмы магнетронного разряда с плоской (планарной) мишенью из бора в области давления рабочих газов от 0.1 до 2 мТорр, а также результаты контрольных экспериментов с мишенью из меди. Поскольку при нормальных условиях бор является материалом с низкой удельной электрической проводимостью около 10^{-7} См/см, в случае мишени из этого материала использовалась специфическая магнетронная система с термоизолированной и нагреваемой в самом разряде до температуры 500–700 °С мишенью из чистого бора [3]. При такой температуре проводимость бора, полупроводника с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, повышается, обеспечивая стабильное функционирование разряда. Параметры плазмы измерялись одиночным ленгмюровским зондом, в котором для исключения эффекта изоляции собирающей поверхности зонда непроводящим покрытием бора эта поверхность нагревалась до температуры около 500 °С [4].

Ток магнетронного разряда в большинстве экспериментов составлял 50 мА. Такой низкий ток, нетипичный для магнетронных распылительных систем с металлической мишенью, был ограничен растрескиванием спеченной под давлением из мелкокристаллического порошка бора мишени при резком изменении ее температуры, например, при случайном погасании разряда. Низкое давление рабочего газа было обусловлено спецификой формирования покрытий бора высокой чистоты в случае использования аргона и процесса формирования субоксидов бора при использовании смеси аргона и кислорода, при котором поток атомов кислорода на поверхность синтезируемого покрытия должен быть менее 10^{16} см⁻²·с⁻¹.

Как правило, в магнетронных разрядах снижение давления газа в разрядном промежутке приводит к монотонному уменьшению интенсивности ионизации. На этом принципе функционирует, например, вакуумметр с холодным катодом на основе магнетронного разряда, в котором уменьшение актов ионизации газа при снижении давления приводит к пропорциональному уменьшению ионного тока на коллектор, по которому это давление измеряется [5]. При указанных параметрах магнетрона с мишенью из бора была зарегистрирована немонотонная зависимость плотности плазмы разряда от давления газа, которая наблюдалась для любых рабочих газов. Плотность плазмы разряда при уменьшении давления сначала уменьшалась, а потом резко возрастала. Выявление причин этого эффекта потребовало проведения настоящих исследований.

* Работа поддержана Российским научным фондом, проект № 24-29-00251 «Синтез борсодержащих покрытий на основе магнетронного распыления и электронно-лучевого испарения твердотельной мишени из чистого бора в среде реактивных газов».