

ИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОДЛОЖЕК БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ

Д.А. Котов, А.А. Ясюнас, Ю.А. Родионов

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки 6, 220013, Минск, Беларусь, тел. 375-017-293-80-59,
E-mail: dm_a_kotov@mail.ru, alex.yasunas@gmail.com

Проведены аналитические исследования конструкций и рабочих характеристик источников ионов для обработки подложек площадью более 100 см^2 . Показаны физические закономерности и ограничения существующих ионно-лучевых устройств обеспечивающих равномерность обработки подложек большой площади $\pm 5\%$ и менее. Предложена концепция построения ионно-лучевых источников ионов на основе источников индуктивно-связанной плазмы высокой плотности.

Введение

В настоящий период времени устройства для генерации направленного потока ионов широко используются для очистки и модификации поверхности подложек различного назначения, а также нанесения на них высококачественных функциональных слоев. В связи с активным развитием дисплейной техники, а также ростом размеров подложек для оптики, микро- и оптоэлектроники существует необходимость развития технологии обработки подложек большой площади с равномерностью не хуже $\pm 5\%$. Более того необходимо отметить, что этот параметр имеет тенденцию к уменьшению. Поэтому совершенствование уже существующих и разработка новых ионно-лучевых источников является актуальным и необходимым для развития современной техники [1].

Основная часть

В процессах ионно-лучевой обработки (ИЛО) наибольшее распространение нашли сильноточные источники ионов низких энергий с широкой диаграммой направленности пучка. Условно источники ионов (ИИ) для ИЛО могут быть классифицированы в две группы: сильноточные источники ионов низких энергий и источники ионов высоких энергий. К низким энергиям относятся ионы с энергиями в диапазоне до нескольких кэВ, а к высоким — в интервале от нескольких кэВ до нескольких сотен кэВ [1-3]. Для ионно-ассистированного синтеза тонкопленочных структур, как правило, требуются ионы с энергиями в диапазоне $10 - 150 \text{ эВ}$, а для проведения процессов активации, очистки поверхности и распыления мишени — ионы с энергиями в диапазоне $150 - 2000 \text{ эВ}$. На рисунке 1 показаны физико-химические процессы происходящие на поверхности и в объеме твердого тела в зависимости от энергии бомбардирующих ионов. В связи с этим в настоящей работе рассматривались устройства, генерирующие направленные потоки газовых ионов с энергиями до 2000 эВ .

Классификация автономных источников заряженных частиц и плазмы, а также технические характеристики устройств, которые наиболее часто применяются в технологии модификации поверхности и синтеза тонкопленочных слоев, состоит из устройств двух классов: электростатические ускорители ионов с объемной ионизацией и ускорители плазмы, последние подразделяются

на электростатические и магнитоплазменные устройства [1, 2].

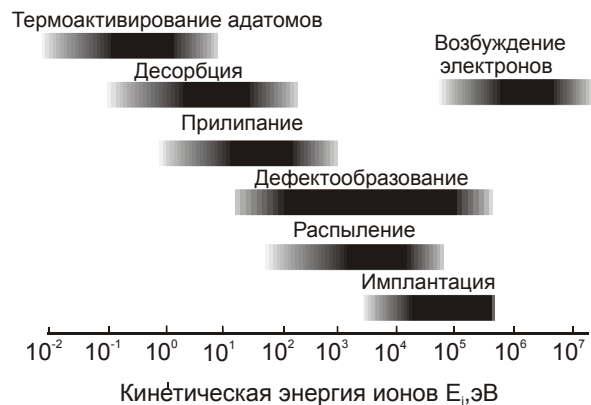


Рис. 1. Физико-химические процессы в твердом теле в зависимости от энергии бомбардирующих ионов

Для ионно-лучевой обработки наибольшее распространение получили сеточные (многоапертурные) ионные источники, получившие в литературе название источников Кауфмана [3]. Первоначально устройство было разработано как ионный движитель по космической программе NASA в 1960'х годах. Позже он был адаптирован для модификации материалов и ионного распыления мишеней. Обычно в его состав входит термоэлектронный катод, анод и несколько сеток для многоапертурной экстракции. Для повышения степени ионизации газа и создания широких пучков с высокой равномерностью создается соосное магнитное поле с индукцией $3 - 5 \text{ мТл}$. В таких устройствах ионизация происходит в разрядной камере в пространстве анод – накаливаемый катод, при напряжении разряда не превышающем 100 В , а пучок формируется с помощью электростатической ионно-оптической системы (ИОС), выполненной в виде одной, двух (см. рисунок 2) или трех сеток. При этом обеспечивается давление газа в разрядной камере источника порядка 10^{-1} Па при общем давлении в камере $5 \times 10^{-3} \text{ Па}$ и коэффициенте использования рабочего газа до 80% [3].

Для ИЛО подложек большой площадью разработан источник Кауфмана с диаметром до 400 мм . Применение таких устройств крайне ограничено вследствие ряда недостатков: потенциальная ненадежность накальных элементов (осо-

бенно при использовании активных газов) и как следствие сложность получения потока ионов с высокой равномерностью; наличие ограничений по плотности тока экстрагированных ионов при низких (особенно менее 100 эВ) энергиях, которое определяется исходя из закона Чарльда – Ленгмюра, и сравнительно небольшая (не более $1,2 \text{ mA/cm}^2$) плотность тока при энергиях порядка 1 кэВ [2, 3], что связано с низкой плотностью плазмы генерируемого разряда и высокими требованиями к изготовлению и юстировке ИОС. Однако несомненным достоинством этих источников является возможность получения однородного пучка ионов большой площади с узким энергетическим спектром.

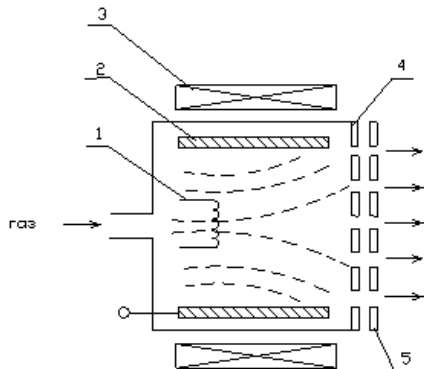


Рис. 2. Схема многоапертурного источника с соосным магнитным полем и двухсеточной ИОС
1 – термокатод; 2 – анод; 3 – соленоид;
4 – экранирующая сетка; 5 – ускорительная сетка

Альтернативой электростатическим источникам ионов являются системы с генерацией и ускорением частиц в электрическом и магнитном полях. К используемым в технологии плазменным устройствам этого типа относятся: ускорители с анодным слоем (УАС), и их вариант источник «Радикал», ускорители с замкнутым дрейфом и протяженной зоной ускорения (второе название – ускорители с магнитным слоем (УМС)), а также торцевые холловские источники ионов (ТХИ) [1-3]. Физические принципы построения и конструкция УАС и источника «Радикал» позволяют легко масштабировать эти устройства для обработки подложек с размерами в несколько метров, например архитектурных стекол. Разрядные устройства на основе УМС и торцевого холловского источника также можно реализовать в виде протяженной конфигурации, либо покрыть обрабатываемую площадь установкой нескольких устройств. Следует отметить, что ионно-лучевые источники на основе УАС имеют О-образный профиль и для обеспечения равномерной обработки требуют применения устройств перемещения, а устройства на основе УМС и ТХИ имеют ограниченный диапазон энергий обрабатываемых ионов. Более того все устройства построены

на базе ускорителей плазмы имеют «размытый» энергетический спектр ионов в формируемой потоке. Для очистки поверхности и распылению мишени это не является критически важным, но в случае синтеза многофазных соединений при ионно-лучевом ассистировании осаждению или нанесению из ионного пучка наличие ионов с разной энергией приводит к невоспроизводимости фазового состава функционального слоя. Поэтому применение плазменных ускорителей в таких технологических процессах также ограничено.

Исходя из выше приведенного, потенциальный интерес представляют электростатические источники ионов с ВЧ и СВЧ разрядами. Источники индуктивно-связанной плазмы генерируют плазму с концентрацией до 10^{12} cm^{-3} при равномерности $\pm 3\%$ и рабочем давлении 0,1 – 10 Па, на подложках диаметром более 100 мм [4]. Генерация и поддержание индуктивно-связанного разряда не требует наличия источников внешнего постоянного магнитного поля, что их выгодно отличает от СВЧ систем на основе электронно-циклотронного резонанса и ВЧ систем на основе геликонового разряда, в результате распределение плотности плазмы определяется только конфигурацией антенной системы. ВЧ источники ионов с цилиндрической антенной системой позволяют формировать потоки ионов с плотностью свыше 4 mA/cm^2 . Тем не менее они не обеспечивают необходимой равномерности обработки на подложках диаметром более 100 мм. Поэтому мы предлагаем применение для генерации плазмы плоской антенной системы, обеспечивающей равномерность по плотности генерируемой плазмы при диаметре ИОС вплоть до 200 мм.

Заключение

В результате проведенных аналитических исследований была предложена концепция построения электростатического источника ионов на базе источника индуктивно-связанной плазмы высокой плотности для обработки подложек площадью более 100 cm^2 с неравномерностью вплоть до $\pm 3\%$.

Список литературы

1. Маишев Ю.П. // Электронные, ионные и плазменные технологии. – 1999. – 7. – С. 59 – 62.
2. Фортов В.Е. Энциклопедия низкотемпературной плазмы // М.: Наука, 2000. С. 159.
3. W. Ensinger. // Rev. Sci. Instrum. – 1992. – Vol. 63, №4. – P. 5217 – 5233.
4. Lieberman M.A., Lichtenberg A.J. Principles of plasma discharges and materials processing. - New York: Wiley, 2007. - P. 254.
5. Котов Д.А., Ясюнас А.А., Кирия Л.Т. // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Мн.: БГУИР – 2011. – Т. 9, №2. – С. 83 – 89.

ION SOURCES FOR TREATMENT OF LARGE SUBSTRATES

D. Kotov, A. Yasunas, Y. Radzionau

Belarus State University of Informatics and Radioelectronics

The analytical investigation of ion sources design and characteristics was carrying out. The physical limits of existing ion-beam systems for treatment substrates with large area at uniformity $\pm 5\%$ have been shown. The conception design of ion-beam source based on inductive coupling high densities plasma generation system was suggested.