

течения газа более интенсивным.

2. При учете химических реакций физическая картина существенно усложняется. Появляются критические условия инициирования реакций, и давление зависит не только от температуры, но и от скорости накопления продуктов реакции, обладающих свойствами, отличными от свойств исходных веществ (в первую очередь, иным удельным объемом).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Margot G. Gerritsen, Louis J. Durlofsky. Modeling fluid flow in oil reservoirs. Annual Review of Fluid Mechanics. – 2005. – V. 37. – P. 211–238.
2. Y.Fan, L.J. Durlofsky, H. Tchelepi. Numerical Simulation of the In-situ Upgrading of Oil Shale. – 2010. – 15. – P. 368–381.
3. Князева, А.Г., Лопатин, В.В., Мартемьянов, С.М., Маслов, А.Л., Хан Вэй. Моделирование подземного нагрева сланцев в электромагнитном поле // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2011. – Т. 54. – № 11/3. – С. 5–11.
4. Лопатин В.В., Мартемьянов С.М. Исследование диэлектрических свойств горючих сланцев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Том 55. – № 5. – С.35–39.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЫ ВЧ-МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА ПРИ РАСПЫЛЕНИИ МИШЕНИ НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА

Е.С. Мельников, Т.М. Мухаметкалиев

Научный руководитель: Р.А. Сурменев, к.ф.-м.н., доцент каф. ТиЭФ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: melnikov.evgeniy92@mail.ru

RESEARCH OF THE CHARACTERISTICS OF RF-MAGNETRON DISCHARGE PLASMA BY SPUTTERING OF TARGET BASED ON HYDROXYAPATITE

E.S. Melnikov, T.M. Mukhametkaliyev

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. R.A. Surmenev
National research Tomsk Polytechnic University,
Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: melnikov.evgeniy92@mail.ru

In this study characteristics of RF-magnetron discharge as temperature of electrons, plasma density and electrons speed were investigated by a Langmuir double probe. The goal was to find out the dependence between different deposition modes and RF-magnetron plasma parameters.

Проблема нанесения биосовместимых покрытий на различные имплантаты с каждым годом принимает все более важное значение и становится одним из определяющих направлений исследований в современном мире. Различные биоматериалы призваны восполнять утраченные функции организма. В настоящее время практически все имплантаты имеют биосовместимое покрытие, которое улучшает их

поверхностные свойства. Такими покрытиями являются биосовместимые пленки различных составов, полученные методом высокочастотного (ВЧ) магнетронного распыления мишеней из гидроксипатита (ГА , $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), а также серебросодержащего ГА и других (кремнийсодержащего ГА) [2].

Актуальность данной работы заключается в исследовании таких фундаментальных параметров плазмы как температура электронов, плотность плазмы. В литературе в настоящее время отсутствуют данные исследований влияния характеристик плазмы на формирование, рост и структуру кальций-фосфатного покрытия.

Целью данной работы является исследование количественных характеристик плазмы ВЧ-магнетронного разряда. Для исследования характеристик разряда, в процессе нанесения тонкопленочных покрытий использовалась зондовая система диагностики плазмы. Параметры плазмы определялись с

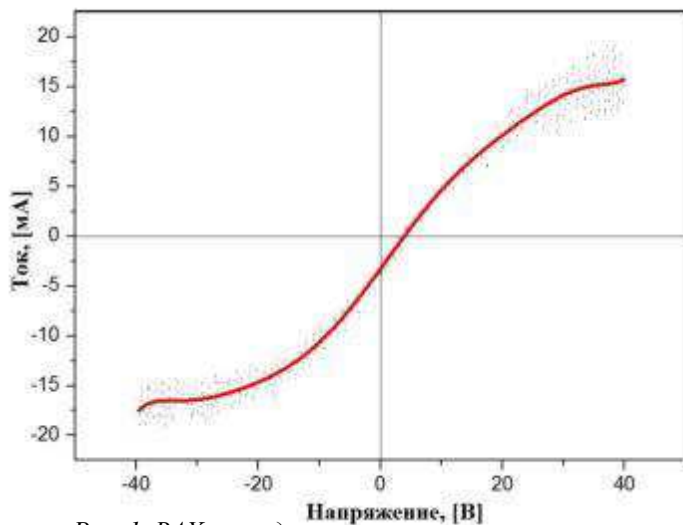


Рис. 1. ВАХ разряда, полученная при распылении мишени на основе ГА (170Вт; 0,4Па)

использованием двойного зонда Ленгмюра [3]. Зонд представляет собой две идентичные вольфрамовые проволоки, помещенные в керамический изолятор. Поверхность зонда, соприкасающаяся с плазмой, имеет цилиндрическую форму. Измерительная система устройства включает в себя: измерительный зонд, опорный электрод и источник напряжения. На зонд подается различный потенциал относительно опорного электрода. При нахождении зонда в плазме разряда вокруг него образуется двойной

электрический слой (призондовый слой), причем в первом приближении вольтамперная характеристика (ВАХ) зонда является ВАХ слоя [3]. На рис. 1 представлена типичная ВАХ исследуемой плазмы. В таблице 1 приведены измеряемые в процессе напыления характеристики плазмы в атмосфере аргона при различных значениях мощности и давлении 0,3 Па.

Таблица 1. Параметры плазмы, полученные при различных режимах мощности при давлении 0,4 Па

	Режим 1 (130Вт; 0,4Па)	Режим 2 (160Вт; 0,4Па)	Режим 3 (180Вт; 0,4Па)	Режим 4 (200Вт; 0,4Па)	Режим 5 (220; 0,4Па)
T_e , эВ	14,851	11,817	11,231	10,249	7,156
$v_e \cdot 10^6$, м/с	2,579	2,301	2,267	2,143	1,791
$n_e \cdot 10^{11}$, см ⁻³	1,837	2,239	2,421	2,784	3,828

Параметры плазмы определялись согласно следующим выражениям [5]:

$$T_e = \left| \frac{e \cdot \Delta U_3}{k \cdot \ln I_3} \right|; v_e = \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m}}; n_e = \frac{4I_0}{e \cdot v_e \cdot S_3},$$

где $e=1,60217657 \cdot 10^{-19}$ [Кл] – элементарный заряд электрона, ΔU_3 – напряжение [В], $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ [Дж/К] – постоянная Больцмана, $\ln I_3$ – логарифм тока, $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ [кг], S_3 – площадь зонда, I_0 – ток.

Из данных, предоставленных в таблице 1, видно, что при росте ВЧ-мощности наблюдается уменьшение температуры электронов и их скорости. Снижение T_e и v_e ведет к увеличению концентрации заряженных частиц. Установлено, что увеличение n_e является следствием увеличения мощности, что в

свою очередь увеличивает скорость роста пленок [5]. Все заключения также следуют из формул, что подтверждает достоверность полученных данных.

В некоторых источниках сообщается, что температура электронов не зависит от значений давления [4]. В данном эксперименте не проводилось исследование зависимости характеристик плазмы от давления в рабочей камере.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно заключить, что при увеличении мощности происходит уменьшение таких характеристик плазмы как T_e , v_e , а n_e увеличивается, что приводит к увеличению коэффициента осаждения [5].

Диагностика ВЧ-магнетронного разряда позволила установить зависимость температуры, скорости, и концентрации электронов от мощности. Полученные данные будут использоваться в дальнейших исследованиях для выявления закономерностей влияния параметров ВЧ-плазмы на свойства напыленных биосовместимых кальций-фосфатных пленок.

Исследование выполнено при поддержке гранта и стипендии Президента РФ СП-6664.2013.4 и МК-485.2014.8, российского фонда фундаментальных исследований (13-08-98082, 14-08-31027 мол-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эппле М. Биоматериалы и биоминерализация / Перевод с немецкого под редакцией В.Ф.Пичугина, Ю.П. Шаркеева, И.А. Хлусова – Томск: «Ветер», 2007. – 137 с.
2. Surmenev R.A., Surmeneva M.A., Evdokimov K.E., Pichugin V.F., Peitsch T., Epple M. The influence of the deposition parameters on the properties of an rf-magnetron-deposited nanostructured calcium phosphate coating and a possible growth mechanism // Surface and Coatings Technology. – 2011. – № 205. – P. 3600–3606.
3. N.F. Kashapov, G.S. Luchkin. Diagnostics of Abnormal Glow Discharge in Crossed Electrical and Magnetical Fields During Evaporating Optical Coatings // Collection of materials Scientific and technical conference «Low-temperature plasma in processes drawings functional coverings». – Kazan, November 11-14, 2009. – P. 500–503.
4. Воробьев А.К., Галонов С.В., Гусев С.А., Дроздов Ю.Н., Клюенков Е.Б., Лучин В.И. Влияние давления рабочего газа на свойства тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников, полученных магнетронным распылением// Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24. – № 4. – С.80–85
5. Koirala S.P., Abu-safe H.H., Mensah S.L., Naseem H.A., Gordon M.H. Langmuir probe and optical emission students in a radio frequency (rf) magnetron plasma used for the deposition of hydrogenated amorphous silicon // Surface and Coatings Technology. – 2008. – № 203. – P. 602–605.