

зрения авторов, данный механизм достаточно близок к тому эффекту, который изучается в настоящей работе, но значительным отличием является скорость ротора. Как видно из рис. 4, эффект разделения в предложенном устройстве удается получить уже при скоростях пластины в несколько сотых от характерной тепловой скорости молекул. Такие скорости значительно легче достичь в микротехнике (по сравнению со скоростями, характерными для лопаток турбомолекулярных насосов).

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [2] и вычислительных ресурсов МСЦ РАН. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 17-71-10227).

Литература

1. A. Yakunchikov, V. Kosyanchuk, Application of event-driven molecular dynamics approach to rarefied gas dynamics problems, *Comput. Fluids*. 170 (2018) 121–127. doi:10.1016/j.compfluid.2018.05.002.
2. V. Sadovnichy, A. Tikhonravov, V. Voevodin, V. Opanasenko, “Lomonosov”: Supercomputing at Moscow State University, *Contemp. High Perform. Comput. From Petascale Towar. Exascale*. (2013) 283–307. doi:doi:10.1201/b14677-14.

Зависимость параметров импульсного блока питания от коэффициента заполнения импульсного сигнала и частоты импульсов

*И.В. Михайлова, М.Ю. Акишин, Д.Д. Васильев, К.М. Моисеев
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
E-mail: d.d.vasiliev@bmstu.ru*

В статье рассмотрены параметры импульсного блока питания, такие как скорость осаждения материала, средний ток, напряжение разряда, пиковый ток и мощность, в зависимости от коэффициента заполнения импульсного сигнала и частоты импульсов при импульсном магнетронном распылении.

Dependence of parameters of the pulsed power supply unit on the duty ratio of the pulse signal and the pulse frequency. I.V. Mihaylova, M.U. Akishin, D.D. Vasilev, K.M. Moiseev. Parameters of the pulsed power supply unit are reviewed: the deposition rate of the material, the average current, the discharge voltage, the peak current, the peak power according of the duty ratio of the pulse signal and the pulse frequency by pulsed magnetron sputtering.

Введение

Импульсные режимы магнетронного распыления применяются в технологии нанесения тонких пленок. Они имеют преимущества перед обработкой на постоянном токе. При импульсных режимах питания магнетронов снижается тепловая нагрузка на подложку и мишень. Это происходит вследствие увеличения скважности импульсов или нанесения многокомпонентного покрытия путём поочерёдного короткоимпульсного распыления нескольких мишеней для получения практически однородного состава покрытия. Импульс характеризуется коэффициентом заполнения импульсного сигнала и частотой.

Свойства покрытий зависят от скорости осаждения. В случае SSPD скорость влияет на разупорядоченность плёнки [1]. При импульсном магнетронном распылении можно увеличить скорость распыления без перегрева мишени или подложки, сохраняя постоянной среднюю мощность разряда, путем изменения значений коэффициента заполнения импульсного сигнала(D) и частоты импульсов(f) [2].

Пиковый ток влияет на ионизацию и структуру тонкой пленки. Следовательно, увеличение пикового тока повышает плотность покрытия, что, в свою очередь, влияет на свойства тонкой плёнки[3].

Для достижения необходимых свойств покрытий необходимо знать зависимости между входными и выходными параметрами.

Целью работы является установление зависимостей между скоростью осаждения материала, среднего тока, среднего напряжения, пикового тока, пиковой мощности и коэффициента заполнения импульсного сигнала и частоты импульсов для импульсного блока питания.

Эксперимент

Установка ВУП-11М [4] кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана оснащена униполярным импульсным блоком питания. Блок питания создает импульсный сигнал с частотой от 1 кГц до 100 кГц и коэффициентом заполнения от 10% до 80%. Исходя из предположения, что зависимости имеют нелинейный характер, в качестве метода исследования было выбрано построение поверхности 3-й степени по полученным данным в MathCad.

Проведены эксперименты при рабочем давлении $P_{\text{раб}} = 2,1 \cdot 10^{-3}$ мбар, потоке аргона в камеру $Q_{\text{Ar}} = 1,56$ л/час, фиксированной мощности $W = 120$ Вт на магнетроне с вольфрамом(W) диаметром 50 мм. Измерены скорости осаждения материала, показания среднего тока и напряжения, пиковый ток и пиковая мощность при варьировании значений D и f.

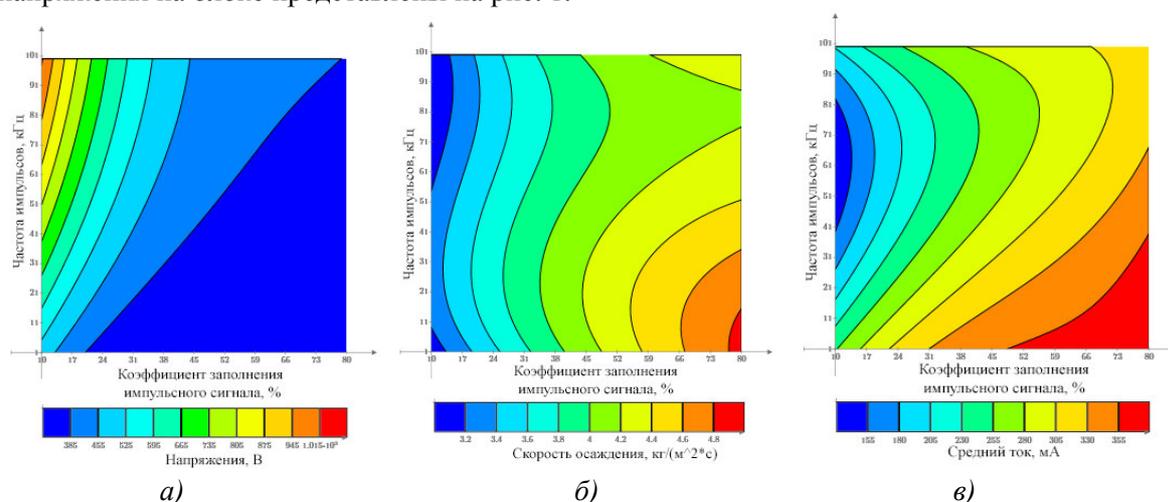
Результаты

Значения измерения скорости осаждения материала, тока и напряжения на блоке при варьировании D и f представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения скорости осаждения, среднего тока и напряжения от D и f при мощности разряда 120 Вт.

Коэффициент заполнения D, %	Частота тока f, кГц	Удельная массовая скорость, кг/(м ² ·с)	Напряжение, В	Средний ток, мА
48	50	$4,05 \cdot 10^{-6}$	408	294
79	50	$4,37 \cdot 10^{-6}$	357	335
70	20	$4,40 \cdot 10^{-6}$	347	343
70	80	$4,19 \cdot 10^{-6}$	383	311
26	80	$3,58 \cdot 10^{-6}$	603	195
26	20	$3,85 \cdot 10^{-6}$	425	279
17	50	$3,42 \cdot 10^{-6}$	673	175
48	50	$4,13 \cdot 10^{-6}$	404	295
48	8	$4,22 \cdot 10^{-6}$	354	337
48	92	$3,98 \cdot 10^{-6}$	453	264
48	50	$4,11 \cdot 10^{-6}$	407	294
80	1	$4,81 \cdot 10^{-6}$	334	372
80	100	$4,29 \cdot 10^{-6}$	373	320
59	65	$4,13 \cdot 10^{-6}$	398	300
37	65	$3,88 \cdot 10^{-6}$	474	253
37	35	$3,97 \cdot 10^{-6}$	421	282
59	35	$4,23 \cdot 10^{-6}$	374	320
17	5	$3,36 \cdot 10^{-6}$	420	274
19	100	$3,35 \cdot 10^{-6}$	780	151

Результаты построения поверхностей 3-й степени скорости осаждения, тока и напряжения на блоке представлены на рис. 1.



*Рис.1. Поверхности 3-й степени как функции от D и f
а) скорости осаждения; б) напряжения разряда; в) среднего тока разряда.*

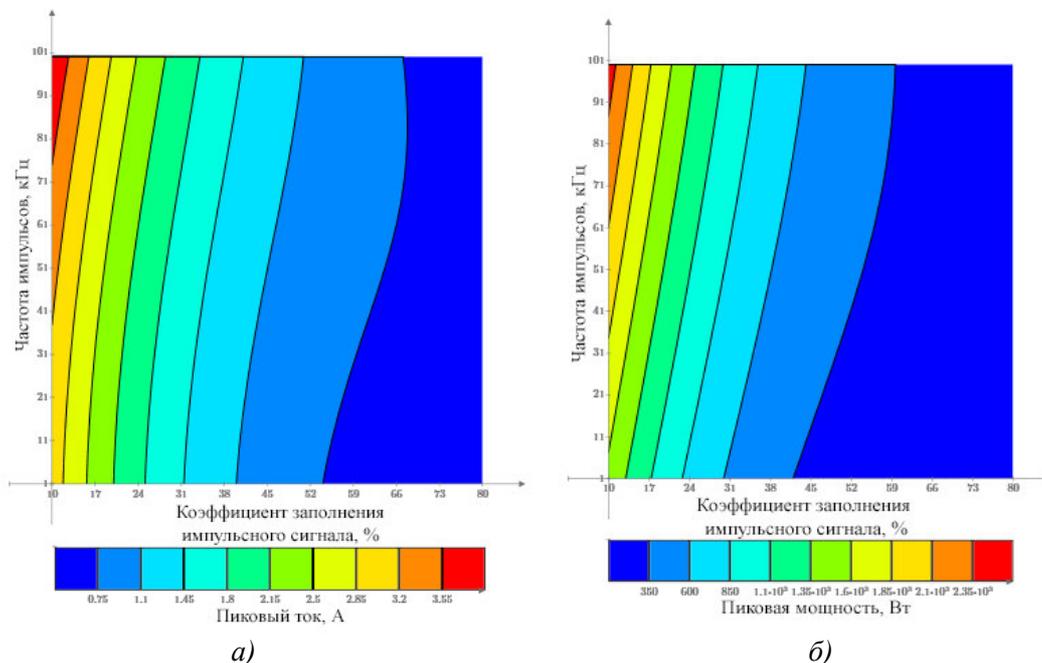
Из рисунков видно, что при уменьшении коэффициента заполнения импульса и увеличении частоты импульсов скорость осаждения и средний ток уменьшаются, а напряжение увеличивается.

Значения измерения пикового тока и пиковой мощности при варьировании D и f представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения пикового тока и пиковой мощности от D и f при средней мощности разряда 120 Вт.

Коэффициент заполнения D, %	Частота тока f, кГц	Пиковый ток, А	Пиковая мощность, Вт
24	24	1,96	945,1
24	43	2,01	1062,2
38	24	1,19	491,3
38	43	1,29	559,1
38	100	1,59	772,2
52	24	0,84	323,4
52	43	0,93	370,5
52	62	0,97	393,7
52	100	1,07	455,8
66	24	0,64	235,0
66	43	0,71	267,4
66	62	0,75	283,8
66	81	0,76	294,5
66	100	0,74	285,5
80	5	0,44	155,0
80	24	0,52	183,4
80	43	0,56	200,6
80	62	0,60	218,1
80	81	0,59	212,1
80	100	0,57	207,9

Результаты построения поверхностей 3-й степени пикового тока и пиковой мощности представлены на рис. 2.



а) б)
Рис. 2. Поверхности 3-й степени как функции от D и f
а) пикового тока разряда; б) пиковой мощности разряда.

При уменьшении коэффициента заполнения импульса и увеличении частоты импульсов пиковый ток и пиковая мощность увеличиваются.

На рис. 3 представлена область значений скорости осаждения от пикового тока.

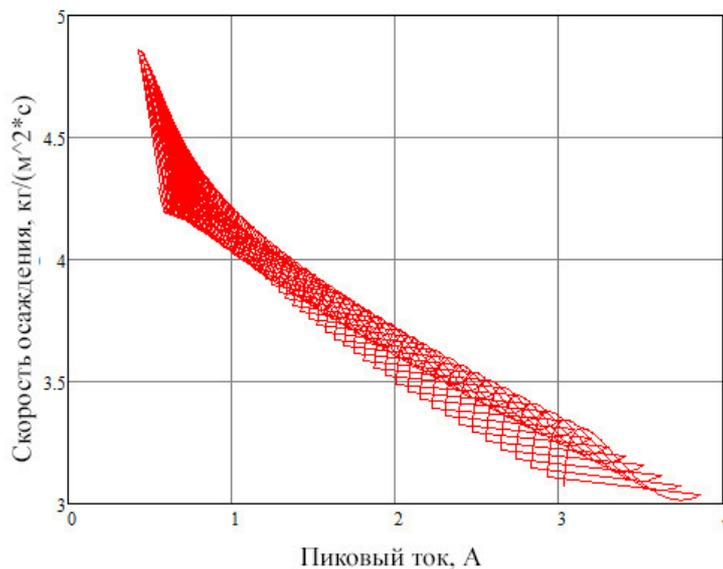


Рис. 3. Область значений скорости осаждения от пикового тока.

Заключение

При уменьшении коэффициента заполнения импульсного сигнала и увеличении частоты импульсов скорость осаждения и ток разряда уменьшаются, а напряжение разряда, пиковый ток и пиковая мощность увеличиваются.

По области значений скорости осаждения от пикового тока можно увидеть линейную зависимость.

Литература

1. Ivry Y., Surick J., Barzilay M., Kim Chung-Soo, Najafy F., Kalfon-Cohen E., Dane A.D., Bergren K.K. Superconductor-superconductor bilayers for enhancing single-photon detection. IOP Publishing. Nanotechnology 28, 207. 7p.
2. Кузмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. Киев: Аверс, 2008. 244 с.
3. Ehasarian A.P., Wen J.G., Petrov I. Interface microstructure engineering by high power impulse magnetron sputtering for the enhancement of adhesion. Journal of Appl. Phys, 2007. 10p.
4. Моисеев К.М. Многопозиционные вакуумные технологические установки // Наноинженерия. – 2014. – № 8. – 18-21 с.

Формирование вакуумной плотности в сверхвысоковакуумных прогреваемых разъёмных соединениях

А.Е.Вязовецкова, В.В.Вязовецков
Москва, РНТВО им. академика С.А. Векшинского
aev241@yandex.ru, vyazovetskov@rambler.ru

Представлен график обобщённой зависимости натекания от усилия, прикладываемого к закрываемому разъёмному соединению. Обсуждается влияние строения уплотнителя, геометрии герметизирующей поверхности на подвижность поверхностного слоя уплотнителя. Указаны направления совершенствования фланцевых соединений и клапанов, а также конструктивное выполнение узлов герметизации.

***Formation of vacuum density in ultrahigh-vacuum heated sectional.** A.E. Vyazovetskova, V.V. Vyazovetskov. A graph of the generalized dependence of the leakage on the force applied to the closed plug connection is presented. The influence of the structure of the seal, the geometry of the sealing surface on the mobility of the surface layer of the seal is discussed. The directions of improvement of flange connections and valves, as well as the constructive implementation of sealing units are indicated.*

Успешная эксплуатация сверхвысоковакуумных систем невозможна без надёжного функционирования коммутационных устройств (фланцевых соединений и клапанов), являющихся наиболее многочисленными её элементами. Даже малая точь насыщает внутрикамерные поверхности газами атмосферы и препятствует достижению предельного давления. Наименее надёжным являются сверхвысоковакуумные прогреваемые коммутационные устройства с большими сечениями вакуумпроводов.

Целью доклада является обоснование рекомендаций выполнения коммутационных устройств, выполненное на основании изучения поверхностных деформационных процессов в зоне герметизации.

Разработка новых коммутационных устройств должна направляться на снижение величины натекания через разъёмное соединение и увеличение гарантированной работоспособности (количества закрытий устройств и термоциклирования в закрытом состоянии). Важными дополнительными требованиями являются создание и совершенствование дистанционного управления прогреваемых клапанов, использование освоенных материалов и технологий, минимальные эксплуатационные затраты (необслуживаемость устройств), сравнительно малая стоимость коммутационных устройств, снижение величины усилия герметизации и мощности привода.