

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ МАГНЕТРОНА НА СВОЙСТВА ПЛЁНОК  
НИТРИДА КРЕМНИЯ**

Ю.В. Петраков, Д.В. Киселева

Научный руководитель: к.т.н. Ю.Н. Юрьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

e-mail: necroplazma@gmail.com

**STUDY ON THE INFLUENCE OF THE MAGNETRON POWER SUPPLY ON THE PROPERTIES OF  
THE SILICON NITRIDE FILMS**

Y.V. Petrakov, D.V. Kiseleva

Scientific Supervisor: Ph.D. Y.N. Yurjev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

e-mail: necroplazma@gmail.com

***Abstract.** Silicon nitride ( $Si_3N_4$ ) films were deposited by magnetron sputtering of silicon target in ( $Ar+N_2$ ) atmosphere with refractive index 1.95 - 2.05. The results of Fourier transform infrared (FTIR) spectrophotometry showed Si-N bonds in the thin films with concentration  $2.41 \cdot 10^{23} - 3.48 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ . Dependences of deposition rate, optical characteristics and surface morphology on rate of  $N_2$  flow and properties of magnetron power supply.*

**Введение.** Для получения плёнок  $Si_3N_4$  может быть использован метод магнетронного распыления, который способен производить покрытия без использования токсичных реагентов и с высокими функциональными характеристиками [1, 2]. Свойства получаемых покрытий зависят как от параметров их осаждения, так и от параметров источника питания.

Целью работы является исследование влияния параметров осаждения и характеристик источника питания магнетронной распылительной системы на свойства плёнок нитрида кремния.

**Материалы и методы исследования.** В эксперименте была использована магнетронная распылительная система с дисковым кремниевым катодом и источник питания со следующими параметрами: источник напряжения, имеющий два режима работы: на постоянном токе (DC) и импульсном токе с частотой 100 кГц, а также источник тока с частотой 134 кГц. Осаждение производилось при поддержании постоянного значения потока аргона ( $18 \text{ см}^3/\text{мин}$ ) и различных значениях потока азота ( $4,5 - 10,5 \text{ см}^3/\text{мин}$ ).

Оптические постоянные плёнок и их толщины были измерены методом эллипсометрии на приборе Эллипс 1891 САГ. Методом ИК-Фурье спектроскопии (прибор Инфралюм ФТ-801) были исследованы присутствующие в покрытиях связи атомов и рассчитаны их концентрации.

**Результаты.** При реактивном осаждении одним из значительных влияний на скорость роста тонких плёнок является соотношение между реактивным и плазмообразующим газами. Зависимость скорости осаждения плёнок нитрида кремния от скорости потока азота  $Q(N_2)$  в рабочую камеру для всех использованных источников питания представлена на рис. 1.

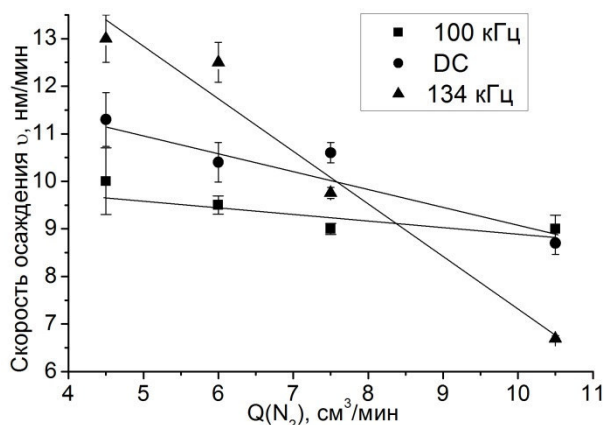


Рис. 1. Зависимость скорости осаждения от потока азота.

Из графика видно, что скорость осаждения нитрида кремния уменьшается при увеличении скорости потока азота в камеру. Это связано с тем, что происходит азотирование мишени, и на ее поверхности образуется слой нитрида кремния, коэффициент распыления которого ниже, чем у чистого кремния [3].

Результаты измерений зависимостей показателя преломления плёнок Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> от потока азота для различных источников питания показаны на рис. 2.

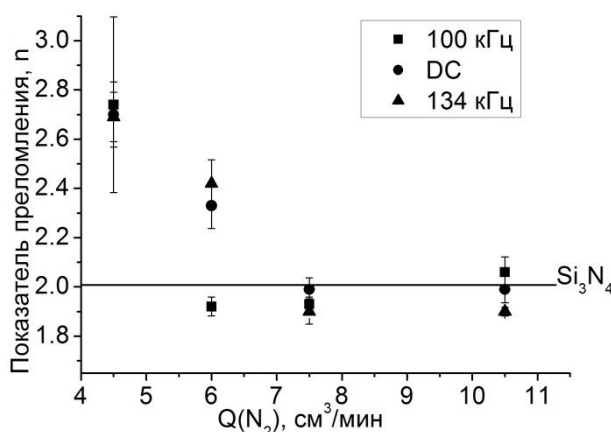


Рис. 2. Показатель преломления пленок нитрида кремния.

Из рисунка видно, что с увеличением потока азота коэффициент преломления покрытий снижается в независимости от типа источника питания. При потоках азота 7-11 см<sup>3</sup>/мин плёнки обладают коэффициентами преломления близкими к стехиометрическому Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (n=1,95 – 2,05) [6].

Таблица 1.

Концентрации связей Si-N

Q(N <sub>2</sub> ), см <sup>3</sup> /мин	Концентрации связей n·10 <sup>23</sup> , см <sup>-3</sup>		
	100 кГц	DC	134 кГц
4,5	2,86	3,38	2,41
6	3,07	3,24	2,58
7,5	3,52	3,11	2,76
10,5	3,28	3,13	2,61

Методом ИК-Фурье спектроскопии были исследованы присутствующие в покрытиях связи атомов и их концентрации. В таблице представлены результаты расчётов концентрации связей Si-N в зависимости от потока реактивного газа в камеру для различных источников питания магнетрона. Полученные значения согласуются с данными для плазмохимического метода получения плёнок Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> [7].

**Заключение.** В результате проведенных исследований было установлено, что скорость осаждения пленок Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> линейно зависит от скорости потока азота в камеру: увеличение потока N<sub>2</sub> приводит к уменьшению скорости. При этом источник питания оказывает незначительное влияние, за исключением режимов с малым потоком азота.

Увеличение скорости потока N<sub>2</sub> в рабочую камеру приводит к уменьшению показателя преломления с 2,7 до 1,9. При скорости потока азота 7,5 см<sup>3</sup>/мин и 10,5 см<sup>3</sup>/мин показатель преломления пленок соответствует стехиометрическому Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (n = 1,95 – 2,05).

Результаты ИК-Фурье спектроскопии показали наличие в плёнках только связей Si-N. Их концентрация практически не зависит от параметров электрического питания магнетрона и равна (2,41 – 3,48) · 10<sup>23</sup> см<sup>-3</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалгин А.Ю. Исследование процессов плазмохимического осаждения пленок нитрида кремния: дис. ... канд. техн. наук: – СПб., 1995. – 237 с.
2. Silicon nitride deposited by inductively coupled plasma using dichlorosilane and ammonia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.researchgate.net/publication/228864159\\_Silicon\\_nitride\\_deposited\\_by\\_inductively\\_coupled\\_plasma\\_using\\_dichlorosilane\\_and\\_ammonia](http://www.researchgate.net/publication/228864159_Silicon_nitride_deposited_by_inductively_coupled_plasma_using_dichlorosilane_and_ammonia) - 17.01.17
3. Musil J. and all. Reactive magnetron sputtering of thin films: present status and trends. \_ Thin Solid Films, 475 (2005), 208-218.
4. Осирко В.О. Импульсный биполярный источник питания для магнетронных распылительных систем: дис. ... канд. тех. наук: Томск. 2016. – 197 с.
5. Inductively coupled plasma chemical vapour deposition (ICP-CVD). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.oxfordplasma.de/pla\\_news/wh\\_paper/OIPT-White%20paper-ICPCVD-March2010.pdf](http://www.oxfordplasma.de/pla_news/wh_paper/OIPT-White%20paper-ICPCVD-March2010.pdf) – 20.01.17
6. Characterisation of the silicon nitride thin films deposited by plasma magnetron / A. Batan, A. Franquet, J. Vereecken and F. Reniers // The 12th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis. – Brussels, Belgium, 2008. – Vol. 40, Iss. 3–4. – P. 754–757
7. Кутков И.В. Качественный и количественный анализ пленок нитрида кремния методом ИК-спектроскопии/ Кутков И.В., Пехтелев М.И. – Журнал Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 1 (31), 2014 – 92-94 с.