

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

УДК 621.3.049.77:621.793

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЕВ AlN,  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО И ИОННО-  
ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ**

М.В. ЕРМОЛЕНКО, А.П. ДОСТАНКО, Д.А. ГОЛОСОВ, С.М. ЗАВАДСКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 6 апреля 2015*

Исследованы оптические характеристики тонких пленок нитрида алюминия, нанесенных методами реактивного магнетронного и реактивного ионно-лучевого распыления. Установлены зависимости показателя преломления и коэффициента поглощения пленок от процентного содержания азота в смеси рабочих газов. Выявлено, что метод реактивного магнетронного распыления позволяет наносить слои нитрида алюминия с более низким коэффициентом поглощения, чем метод реактивного ионно-лучевого распыления и с коэффициентом преломления близким к значению объемного образца.

*Ключевые слова:* нитрид алюминия, ионно-лучевое распыление, магнетронное распыление, коэффициент поглощения, показатель преломления.

Использование нитрида алюминия в качестве материала для получения тонких пленок представляется целесообразным при решении ряда задач прикладной оптики (увеличение или уменьшение отражения, фильтрация света и пр.). Это объясняется тем, что нитрид алюминия обладает прозрачностью (> 80 %) как в видимой, так и в инфракрасной областях спектра, высокими температурной стабильностью и механической прочностью, химической стойкостью к воздействию агрессивных сред [1]. Данная работа посвящена исследованию оптических свойств слоев AlN, полученных методами реактивного ионно-лучевого и магнетронного распыления, и определению наиболее пригодного из ионно-плазменных методов нанесения для достижения оптимальных характеристик.

Покрyтия нитрида алюминия наносились с помощью экспериментальной установки для нанесения компонентных слоев методами реактивного магнетронного и ионно-лучевого распыления при пониженном давлении. Установка выполнена на базе вакуумного поста ВУ-2МП.

Перед напылением производилась очистка мишени и подложек от остаточного загрязнения. В качестве подложек использовался Si (100), оптическое стекло, ситалл. В процессе нанесения слоев подложка располагалась на расстоянии от 8,5 до 11,0 см от поверхности мишени при магнетронном распылении и 20–23 см при ионно-лучевом. Камера вакуумной установки откачивалась до остаточного давления  $10^{-3}$  Па. Распыление мишеней Al (99,9 %) осуществлялось в среде Ar с различным содержанием реактивного газа ( $N_2$ ). Для поддержания заданного расхода газов использовались автоматические регуляторы расхода газа РРГ-1. При этом поток Ar составлял для магнетронного распыления 20–45 мл/мин и для ионно-лучевого 5–20 мл/мин. Поток реактивного газа изменялся от 0 до 25 мл/мин. Напряжение разряда ионного источника составляло 4,5 кВ, ток разряда 180 мА при давлении в камере  $2,0 \times 10^{-2}$  Па.

Толщина полученных пленок колебалась в пределах 1000–2000 Å. Оптические характеристики слоев нитрида алюминия (показатели преломления и коэффициента поглощения) были определены методом эллипсометрии на эллипсометре ЛЭФ-3М-1 при угле падения луча  $65^\circ$  к нормали. Дисперсия показателя преломления и коэффициента поглощения в

диапазоне длин волн 245–1650 нм были определены с помощью автоматического эллипсометра Spectroscopic Ellipsometers M2000UI при угле падения луча  $75^\circ$  к нормали.

На рис. 1 представлена дисперсия показателя преломления слоев нитрида алюминия, полученных методом реактивного магнетронного распыления при различном потоке реактивного газа  $N_2$ :  $a$  – 10 мл/мин,  $b$  – 12 мл/мин,  $c$  – 16 мл/мин,  $z$  – 17 мл/мин,  $d$  – 18 мл/мин. Слои нанесены в режиме стабилизации мощности разряда  $P_r = 0,9$  кВт ( $I_r \approx 2,2$  А) и расстоянии мишень – подложка 11 см, поток Ar 33 мл/мин,  $p = 0,06$  Па. Время осаждения  $t = 10$  мин. Как видно в пленках с недостатком азота, показатель преломления достигал значения 2,5. Однако эти пленки имели высокий коэффициент поглощения – от 0,1 до 1,0 (рис. 2). При длинах волн менее 300 нм (ближняя УФ область) коэффициент преломления резко уменьшался. Такое поведение не отмечено для пленок нитрида алюминия, близких к стехиометрическим (рис. 1,  $c$ – $d$ ). Показатель преломления таких пленок монотонно уменьшается с увеличением длины волны. Близкие к стехиометрическим пленки имели показатель преломления в диапазоне длин волн 600–1600 нм около 2,1. С увеличением потока реактивного газа наблюдалось незначительное уменьшение показателя преломления и резкое уменьшение коэффициента поглощения.

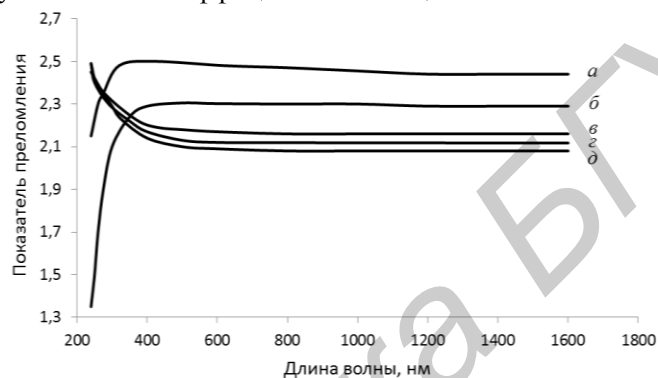


Рис. 1. Дисперсия показателя преломления слоев нитрида алюминия, полученных методом реактивного магнетронного распыления при различном потоке реактивного газа  $N_2$ :  $a$  – 10 мл/мин,  $b$  – 12 мл/мин,  $c$  – 16 мл/мин,  $z$  – 17 мл/мин,  $d$  – 18 мл/мин

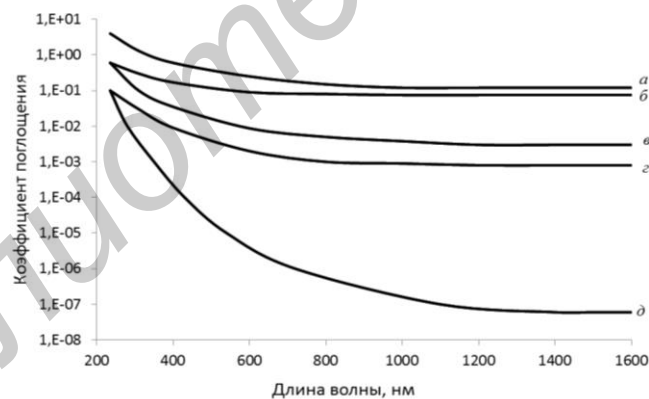


Рис. 2. Дисперсия коэффициента поглощения слоев нитрида алюминия, полученных методом реактивного магнетронного распыления при различном потоке реактивного газа  $N_2$ :  $a$  – 10 мл/мин,  $b$  – 12 мл/мин,  $c$  – 16 мл/мин,  $z$  – 17 мл/мин,  $d$  – 18 мл/мин

На рис. 3 представлены зависимости показателя преломления и коэффициента поглощения на длине волны 0,63 мкм от потока реактивного газа ( $N_2$ ) при реактивном магнетронном нанесении нитрида алюминия. Близкие к стехиометрическим пленки получены при потоке азота в камеру более 20 мл/мин (40 %). При этом коэффициент преломления слоев достигал значения 2,2. Коэффициент поглощения пленок резко снижался при потоке азота более 16,0 мл/мин (30 %). Получены образцы пленок нитрида алюминия с коэффициентом поглощения меньше  $10^{-3}$ . Однако такие пленки имели большие внутренние напряжения и при превышении критической толщины слоев порядка 400–500 нм происходило частичное отслаивание пленки после взаимодействия покрытия с атмосферным воздухом.

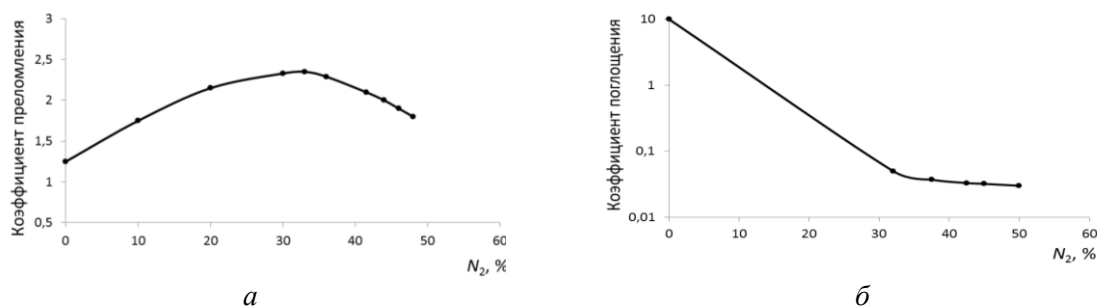


Рис. 3. Зависимости показателя преломления (а) и коэффициента поглощения (б) пленок нитрида алюминия от потока реактивного газа ( $N_2$ ) при реактивном магнетронном распылении

На рис. 4 представлены зависимости показателя преломления и коэффициента поглощения на длине волны 0,63 мкм слоев нитрида алюминия нанесенных методом реактивного ионно-лучевого распыления от потока реактивного газа ( $N_2$ ). Пленки нанесены при следующих параметрах процесса: напряжение разряда  $U_a$  4,5 кВ, ток разряда  $I_a = 180$  мА, ток мишени  $I_t = 190$  мА, расстояние мишень–подложка 22,5 см, время напыления 25 мин. Близкие к стехиометрическим пленки были получены при меньшем потоке азота в камеру, чем при реактивном магнетронном распылении (более 15 %  $N_2$  в смеси  $Ar/N_2$  рабочих газов). Получены пленки с коэффициентом преломления 2,5–2,6. Коэффициент поглощения пленок резко снижался при содержании азота более 15 %. Однако коэффициент поглощения пленок  $AlN$ , полученных методом реактивного ионно-лучевого распыления, был на порядок больше коэффициента поглощения пленок, полученных методом реактивного магнетронного распыления.

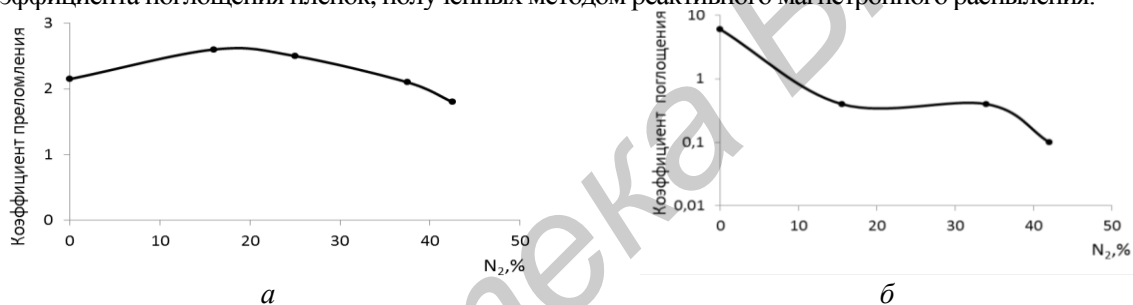


Рис. 4. Зависимости показателя преломления (а) и коэффициента поглощения (б) пленок нитрида алюминия, полученных методом реактивного ионно-лучевого распыления от потока реактивного газа ( $N_2$ )

Таким образом, с точки зрения нанесения нитрида алюминия в качестве оптического покрытия более предпочтительным является метод реактивного магнетронного распыления  $Al$  мишени в среде  $Ar/N_2$  рабочих газов, чем ионно-лучевое распыление. Данным методом можно воспроизводимо наносить слои с коэффициентом преломления порядка 2,2, коэффициентом поглощения 0,02–0,04. При этом необходимое содержание азота в смеси рабочих газов  $Ar/N_2$  должно составлять порядка 40 %.

## OPTICAL CHARACTERISTICS OF $AlN$ THIN FILMS DEPOSITED BY DC MAGNETRON AND ION-BEAM SPUTTERING STUDY

M.V. ERMOLENKO, A.P. DOSTANKO, D.A. GOLOSOV, S.M. ZAVADSKIY

### Abstract

This paper studies the optical characteristics of aluminum nitride thin films deposited by reactive magnetron and ion-beam sputtering. The dependences of the refractive index and absorption coefficient of the films on the percentage of nitrogen in the working gas mixture have been obtained. It was found that reactive magnetron sputtering allows the formation of  $AlN$  layers with a lower absorption coefficient than by reactive ion beam sputtering and with a refractive index close to the value appropriate of the bulk material.

### Список литературы

1. Жилияков Л.А., Костановский А.В. // 1992. Т. 30, вып. 2. С. 290–293.