

УМЕНЬШЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОДЛОЖЕК AlN ИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Алина Александровна Доброносова⁽¹⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽²⁾

Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 5 курса,⁽²⁾

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: К.М. Моисеев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение

Керамические подложки нитрида алюминия AlN получают спеканием порошка нитрида алюминия при температурах, близких к температуре плавления. AlN является уникальным техническим керамическим материалом, который обладает интересным сочетанием высокой теплопроводности и изоляционных свойств. Так как коэффициенты температурного линейного расширения (КТЛР) у нитрида алюминия и кремния практически идентичны, то это позволяет использовать его как конструкционный материал в области электронных технологий, где ранее интенсивно использовалась окись бериллия, физические свойства которой уступают AlN, за исключением диэлектрических потерь, но относительно низкая стоимость и преобладание других характеристик, позволяют нитриду алюминия занять лидирующие позиции на мировом рынке керамики [1]. Особенно активно в последнее время применяются в производстве корпусов, подложек интегральных схем, транзисторов и многих других электронных компонентов [1].

Таблица 1. Сравнение характеристик AlN и BeO.

Параметр	AlN	BeO
Теплопроводность, Вт/м·К	200-240	220-240
Прочность на изгиб, МПа	250-300	170-230
Электрическая прочность, кВ/мм	14-18	10
Удельное электросопротивление (при 25), Ом	$>10^{12}$	$>10^{11}$
Диэлектрическая постоянная (при 1 МГц)	9	8
Тангенс угла диэлектрических потерь:		
при 1 МГц	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
при 10 МГц	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент температурного линейного расширения (25°C), $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	4,6	7,8
Плотность, г/см ³	3,26	2,9

Одной из важнейших характеристик подложки, на которую будет осаждаться тонкопленочное покрытие, является её шероховатость. Достаточно высокие значения шероховатости нитрида алюминия влияют на множества факторов. При более шероховатой поверхности ухудшается четкость рельефа металлических проводников и, следовательно, точность воспроизведения рисунка схемы. При шероховатой

поверхности подложки может произойти локальный разрыв высокоомных (узких) проводников. Не менее опасно нанесение на грубо обработанную поверхность двух близко расположенных проводников между которыми может произойти короткое замыкание. Таким образом, чем лучше качество обработки поверхности подложки, тем выше «разрешающая способность» схемы [2].

Таблица 2. Классы точности поверхности.

Класс шероховатости	Ra предпочт., мкм	Ra допустимые, мкм	Rz, мкм
7	0,80	1,25; 1,00; 0,63	6,3; 5,0; 4,0; 3,2
8	0,40	0,63; 0,50; 0,32	3,2; 2,5; 2,0; 1,60
9	0,20	0,32; 0,25; 0,160	1,60; 1,25; 1,00; 0,80
10	0,10	0,160; 0,125; 0,080	0,80; 0,63; 0,50; 0,40
11	0,050	0,080; 0,063; 0,040	0,40; 0,32; 0,25; 0,20
12	0,025	0,040; 0,032; 0,020	0,20; 0,16; 0,125; 0,100
13	0,012	0,020; 0,016; 0,010	0,100; 0,080; 0,063; 0,050
14	0,012	0,010; 0,008	0,050; 0,040; 0,032

В данной работе рассмотрен процесс обработки подложек нитрида алюминия автономным источником ионов сеточного типа. И представлены результаты измерений структуры поверхности в сканирующем зондовом микроскопе.

Установка и условия проведения эксперимента

Исследование топологии подложки AlN до и после травления проводится на модуле сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), измерительного комплекса Ntegra Spectra (рис. 1) в режиме «полуконтактной» атомно-силовой микроскопии (АСМ).

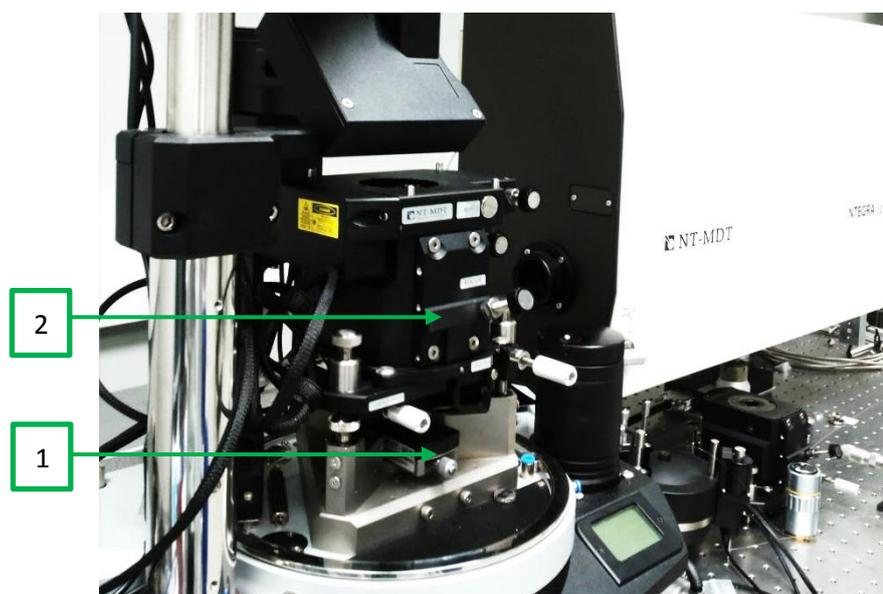


Рис. 1 – Общий вид измерительного комплекса Ntegra Spectra

Прибор состоит из основания – 1, и зафиксированной на нем измерительной головки – 2. На измерительной головке расположены держатель зонда с зондом, лазер и фотодиод. В основании прибора расположены сканер с держателем образца, система подвода образца к зонду и система позиционирования образца.

В микроскопе Ntegra Spectra, сканирование осуществляется образцом, в то время как зонд остается неподвижным. Зонд представляет собой острую иглу, расположенную на конце гибкой консоли (кантилевера), закрепленной на основании. Типичный радиус кривизны кремниевых игл составляет порядка нескольких нанометров.

Данные исследования образцов до травления представлены в таблице 3 и на рис. 2.

Таблица 3. Статистические величины.

Параметр	Значение
Среднее значение:	2,736 мкм
Минимум:	0,000 мкм
Максимум:	5,565 мкм
Срединное:	2,789 мкм
Ra:	0,649 мкм
Rms:	0,796 мкм
Rms (зёрен):	0,796 мкм
Асимметрия:	-0,231
Эксцесс:	-0,43
Площадь поверхности:	$13,3198 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$
Площадь проекции:	$10,0786 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2$

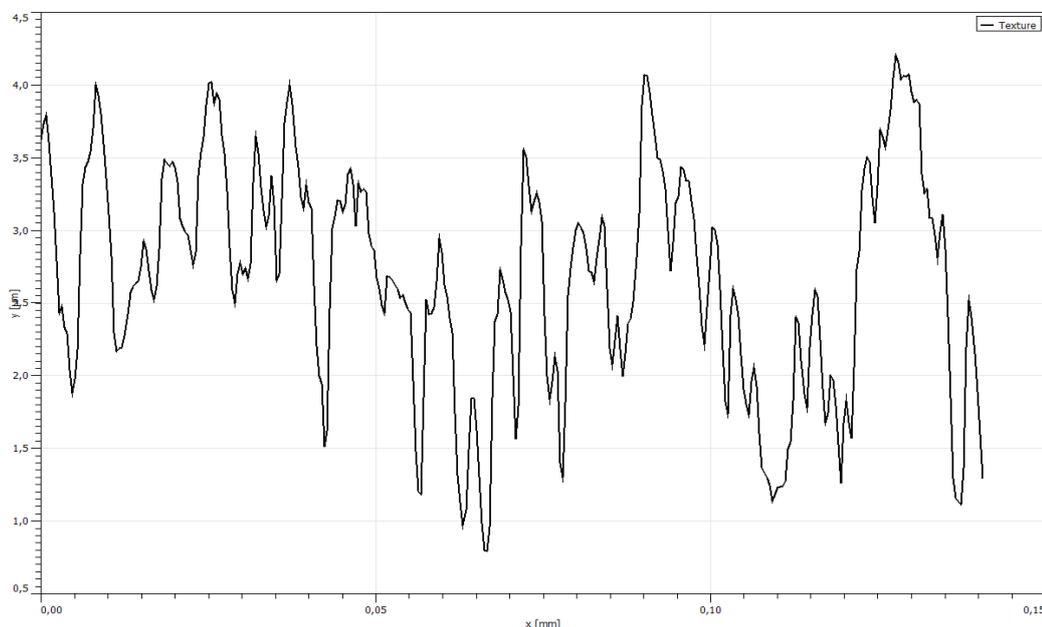


Рис. 2. Профиль сечения поверхности исходной подложки AlN

Анализируя полученные данные можно определить, что подложка AlN имеет первоначальный класс точности 7. По профилю сечения поверхности (рис. 2) можно заключить, что амплитуда пиков необработанной подложки высокая, и в целом не удовлетворяет необходимым параметрам для использования ее в последующих технологических операциях. Что еще раз подтверждает необходимость ее дальнейшей

обработки. Исследуя изображение, полученное в растровом электронном микроскопе (рис. 3), можно оценить довольно крупный размер исходного зерна, что и является основной причиной такой шероховатости.

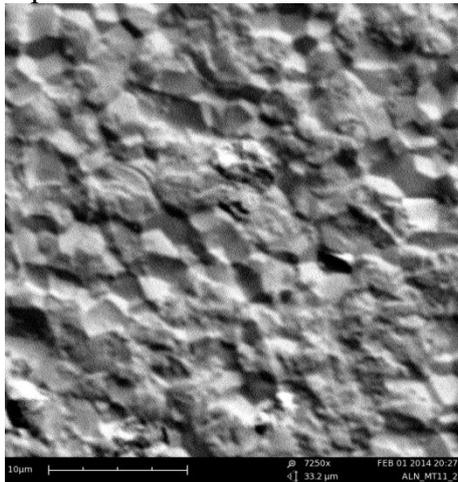


Рис. 3. Поверхность подложки AlN в растровом электронном микроскопе FEI Phenom

Эксперименты проводились на вакуумном универсальном poste (рис. 4), который относится к УВН периодического действия и предназначен для нанесения широкого спектра тонкопленочных покрытий. Данное оборудование является результатом модернизации прототипа и позволяет формировать различные тонкопленочные структуры в едином вакуумном цикле.



Рисунок 4. Вакуумный универсальный пост (ВУП)

В состав вакуумного универсального поста (рис. 5) входят следующие основные узлы и системы: турбомолекулярный насос Edwards nEXT400D (1), рама (2), высоковакуумный затвор (3), рабочая камера (4), магнетрон (5), клапан напуска атмосферы (6), ввод вращения (7), двигатель РД-09 (8), датчики измерения вакуума WRG (9), дуговой источник ИД-200-01 (10), электромагнитные клапана (11, 12), форвакуумный механический насос Edwards E2M40 (13), автономный источник ионов (14), байпасная магистраль (15).

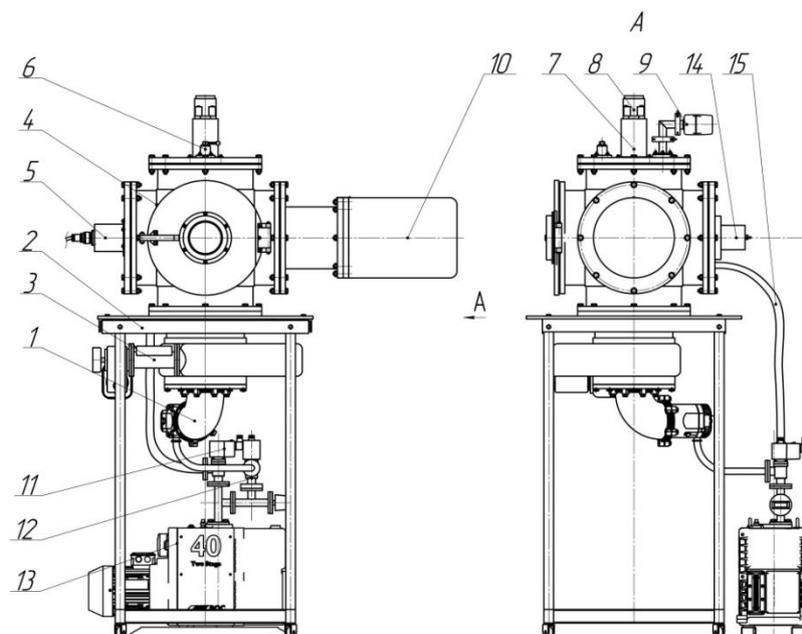


Рис. 5 Общий вид вакуумного универсального поста (ВУП)

Технические характеристики ВУП:

1. Предельное остаточное давление в рабочей камере: не более 10^{-3} Па;
2. Время получения высокого ($4 \cdot 10^{-3}$ Па) вакуума: 30 мин;
3. Количество технологических источников: 3;
4. Тип источников:
 - магнетрон с ВЧ источником (МРС);
 - автономный источник ионов (АИИ);
 - дуговой источник ИД-200-01;
5. Мощность источника ВЧ магнетронного распыления: 1 кВт;
6. Рабочее напряжение дугового источника: 20...40 В;
7. Максимальное ускоряющее напряжение АИИ: 1 кВ;
8. Расход холодной воды $15 \pm 1^\circ\text{C}$ при давлении 0,3...0,4 МПа: 550 л/час;
9. Максимальная потребляемая мощность в установившемся режиме: 5 кВт.

Травление подложек нитрида алюминия

Сущность процесса ионного травления заключается в следующем. Рабочий газ аргон ионизируется, разгоняется разностью потенциалов. Высокоэнергетичные ионы бомбардируют подложку и выбивают частицы нитрида алюминия, делая его поверхность менее шероховатой. Подложка закрепляется на подложкодержателе под углом 60° относительно нормали. Так как рельеф поверхности имеет множество микронеровностей с различными углами падения ионов на поверхность материала, то коэффициент распыления материала для каждого отдельного микроучастка поверхности будет различен (рис. 6). А меняя угол расположения подложки, ионы выбивают наиболее выступающие вершины, тем самым выравнивая поверхность.

Эксперимент проводился при разных режимах работы автономного источника ионов, а также при разной длительности обработки. Результаты исследований в сканирующем зондовом микроскопе и параметры эксперимента представлены в таблице 4 и на рис. 7.

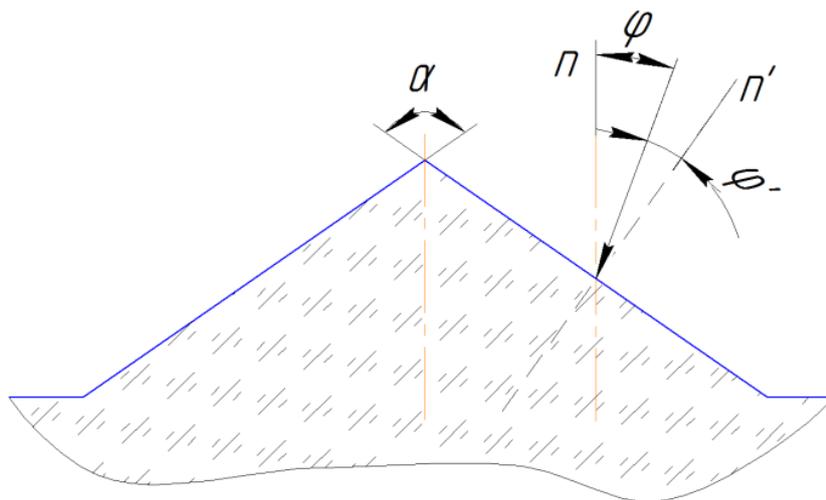
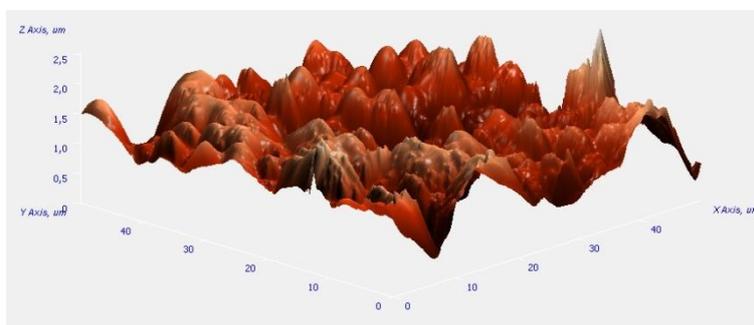


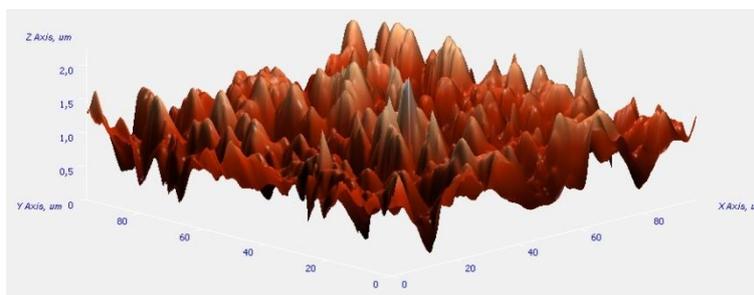
Рис. 6. Геометрическая модель микронеровности поверхности

Таблица 4. Статистические величины после травления

№ эксперимента	1	2	3
Угол наклона, гр	60	60	60
Разность потенциалов, кВ	0,996	0,6	1,007
Ток, мА	11	8	10
Время травления, мин	15	60	60
Ra, мкм	0,273	0,236	0,384
Peak-to-peak, мкм	2,676	2,263	2,849



а)



б)

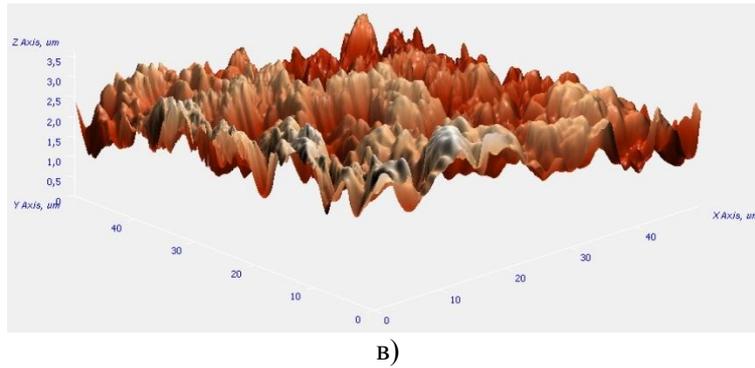


Рис. 7. Подложки AlN после ионного травления: а) образец №1, б) образец №2, в) образец №3

Выводы и заключение

Проведя эксперименты травления, удалось снизить первоначальную шероховатость в несколько раз. Однако из-за достаточно высокой неравномерности, вызванной наличием крупного зерна у образцов, необходимо проводить некоторые предварительные механические операции для снижения первоначальной шероховатости, для того, чтобы достигнуть более высокого класса точности поверхности.

Литература

1. *Костенко В.И., Серегин В.С, Грошкова Л.А., Василевич А.И.* Перспективы использования высокотеплопроводной керамики из нитрида алюминия в космическом приборостроении / Вопросы миниатюризации в современном космическом приборостроении: труды семинара ИКИ РАН. – Таруса, 2004. – С. 250-256.
2. *Данилов Б.С., Киреев В.Ю.* Ионное травление микроструктур. – М.: Советское радио, 1979. – 104 с.