

Особенности обработки кластерными ионами аргона поликристаллических плёнок AlN на подложках из ситалла и Si

И.В. Николаев^{1,*}, Н.Г. Коробейщиков¹, П.В. Гейдт¹, В.И. Струнин²

¹ Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия

² Институт радиофизики и физической электроники ОНЦ СО РАН, Омск, Россия

*e-mail: i.nikolaev@nsu.ru

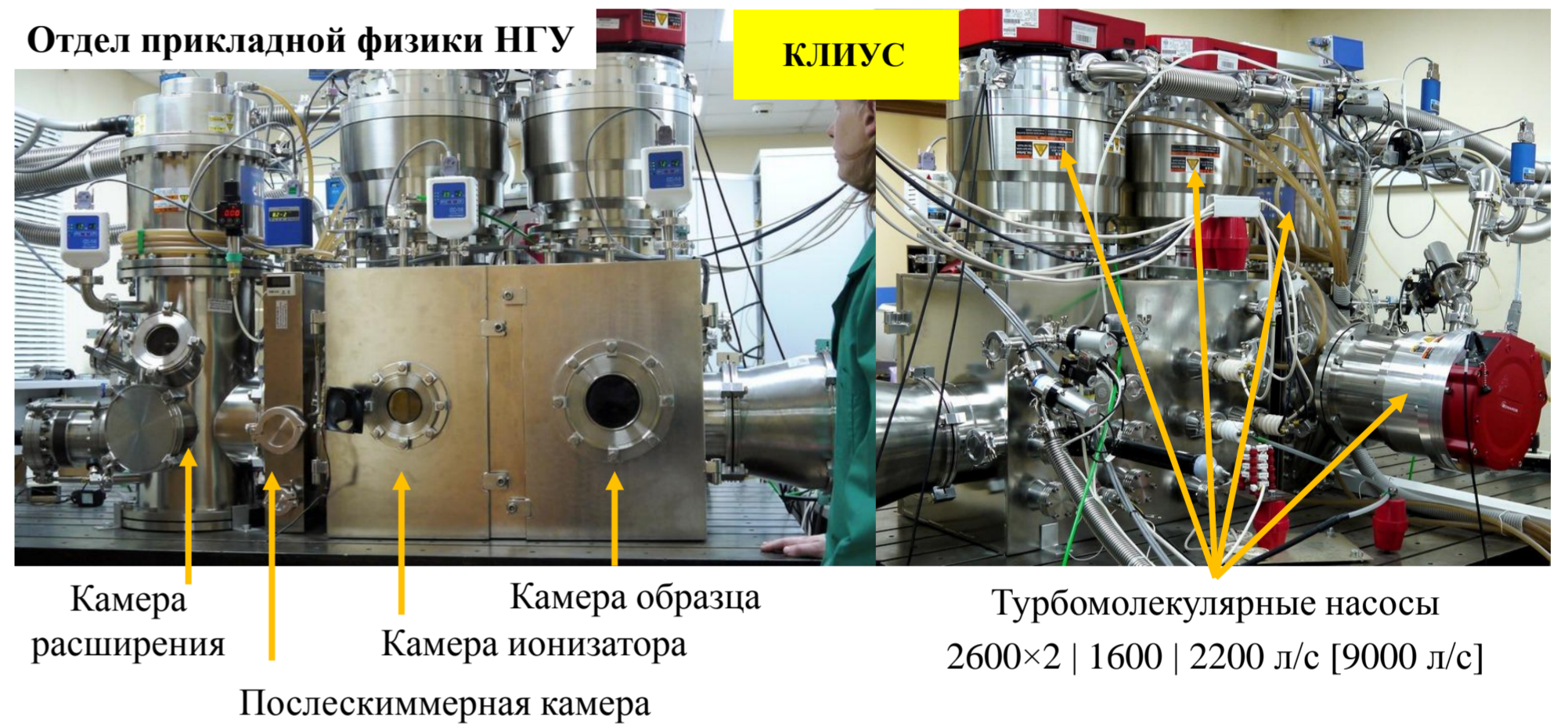
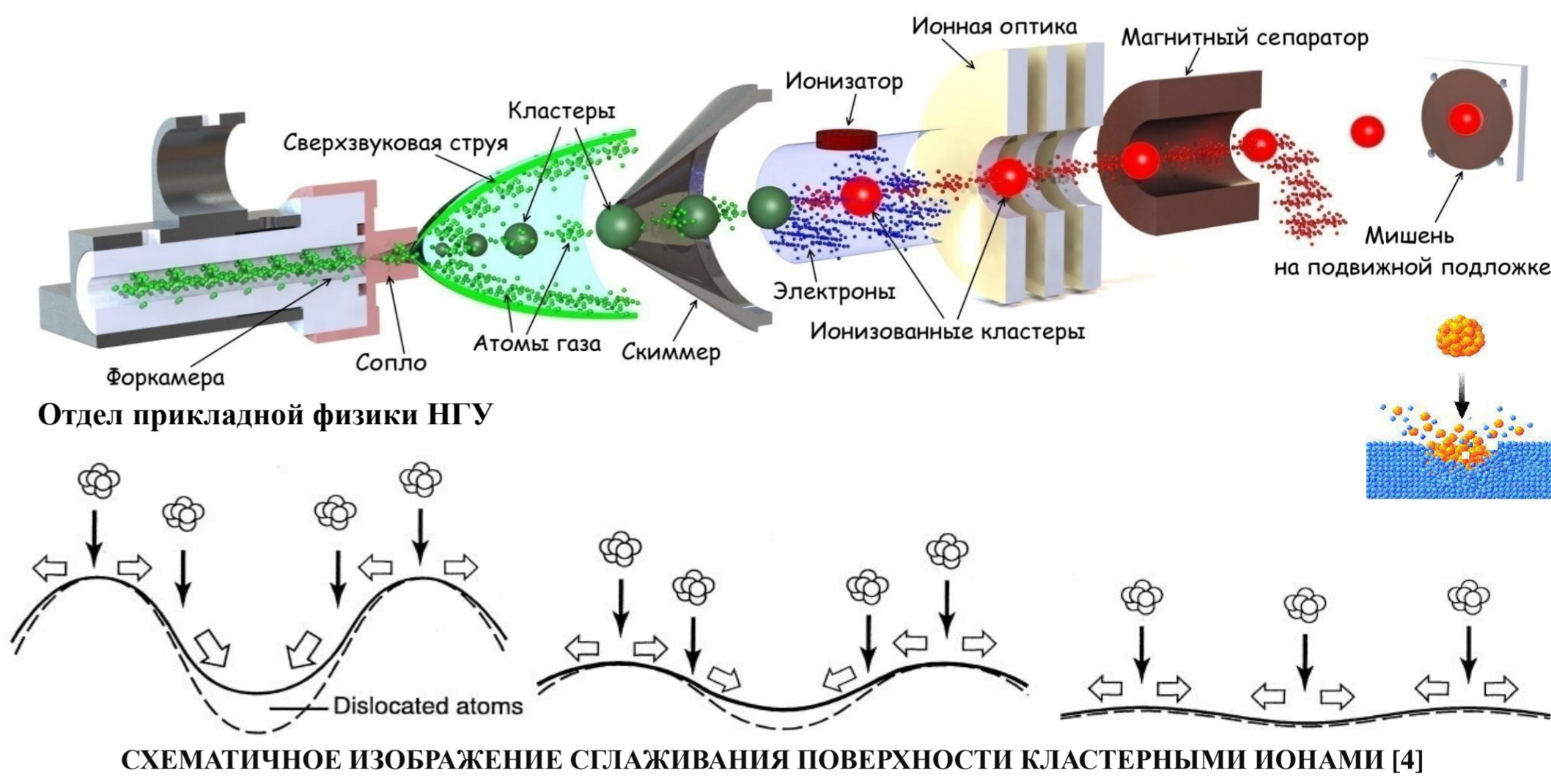
ВВЕДЕНИЕ

Нитрид алюминия обладает уникальным набором физических и химических свойств, таким как большие пьезоэлектрические коэффициенты, высокая механическая прочность, коррозионная стойкость, высокое напряжение пробоя и высокая теплопроводность. Поэтому плёнки на основе нитрида алюминия широко используются в современной оптике, биосенсорах, микроэлектронике, оптоэлектронике и других приложениях [1, 2]. Известно, что кластерные ионы эффективно применяются для сглаживания и травления поверхности мишени при минимальном повреждении обрабатываемого материала, глубиной единицы нанометров [3]. Коллективное взаимодействие атомов кластера с атомами мишени сопровождается высоким локальным энерговыделением и приводит к распылению и смещению атомов мишени преимущественно вдоль поверхности, а за счёт изменения размера кластера, можно сформировать интенсивный поток частиц с очень малой энергией, приходящийся на один атом в кластере – единицы электрон-вольт, что сравнимо с энергией связи частиц на поверхности материала.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Образцы поликристаллических плёнок AlN толщиной 1 мкм были получены магнетронным распылением мишени из чистого Al (99.99%) в азотно-аргоновой плазме. Плёнки формировались на подложке из ситалла и кремния при постоянной мощности магнетрона 700 Вт. Температура подложки во время нанесения плёнки поддерживалась на уровне 350°C; фоновое давление в вакуумной камере составляло 0,07 Па. Расход рабочих газов N₂ и Ar составлял 10 и 4 ссст, соответственно.

Обработка плёнок AlN проводилась на отечественной экспериментальной установке КЛИУС, кратко описанной в [5]. Средний размер кластерных ионов аргона N_{mean} составлял 1000 атомов/кластер, а кинетическая энергия кластеров E = 10 кэВ. Параметры были выбраны исходя из результатов наших работ [6, 7], где было показано, что при малой удельной энергии кластера (E/N_{mean} нескольких эВ/атом) мишени медленнее распыляются, но лучше сглаживаются. Плотность тока кластерных ионов j на мишени составляла 0,5 мкА/см². Средняя скорость травления поверхности мишени (v) составляет до 0,25 нм/мин. Для анализа морфологии поверхности образцов использовали атомно-силовой микроскоп ИНТЕГРА Прима HD (NT-MDT).



Измерения проводились в контактном режиме с пространственным разрешением 1024×1024 пикселей при различных размерах области сканирования: (2×2, 10×10 мкм²).

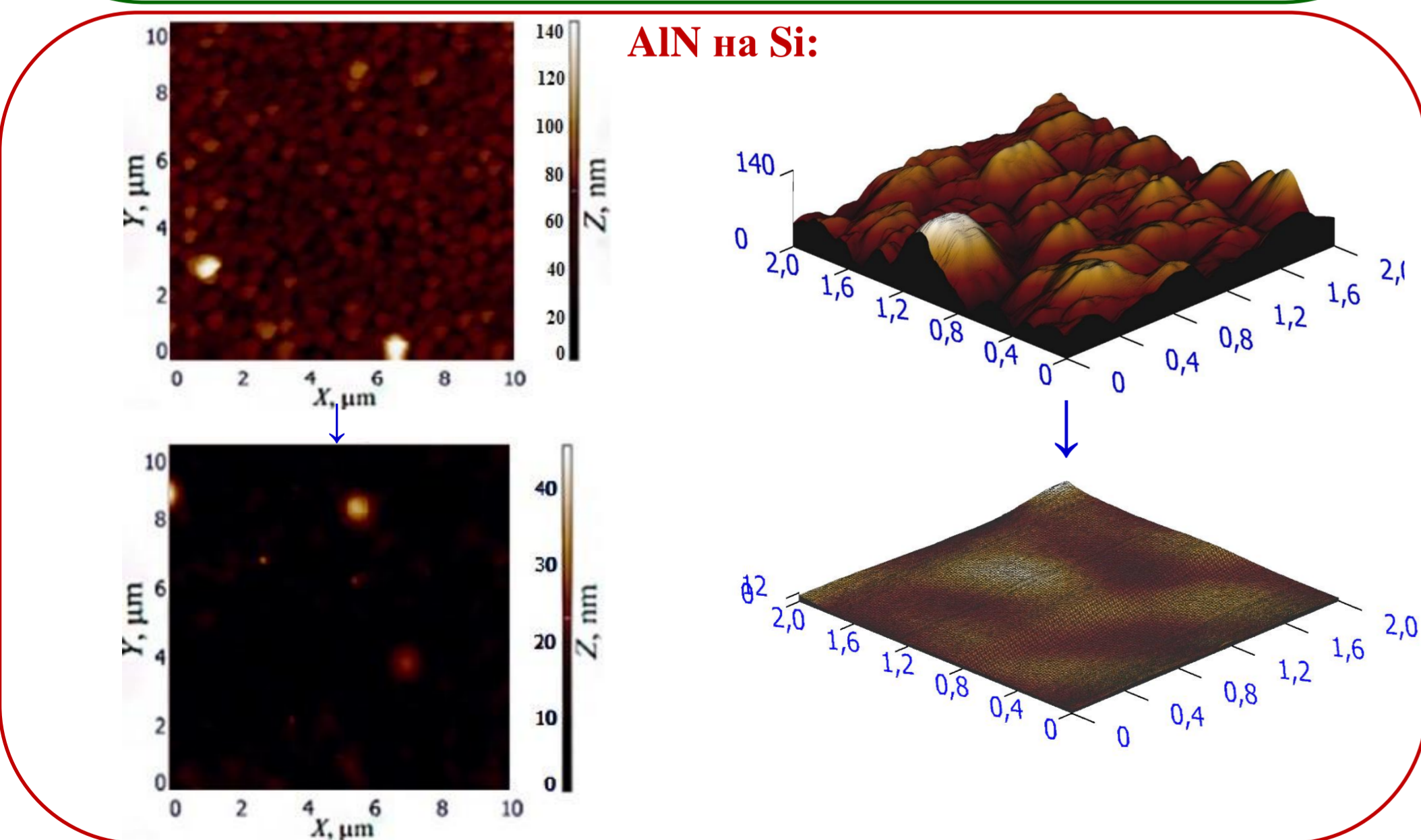
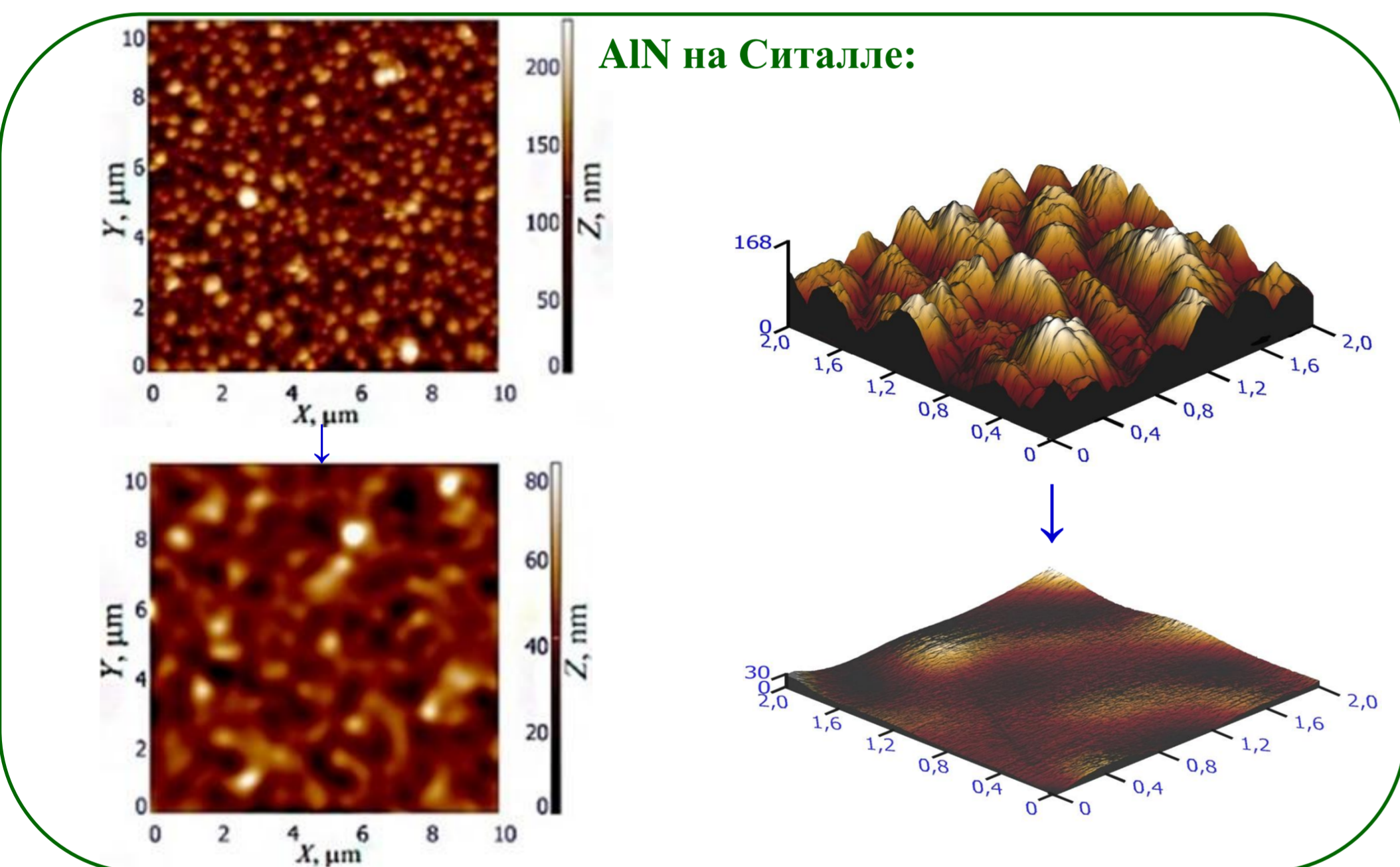
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Слева представлены АСМ-изображения исходных поверхностей поликристаллической плёнки AlN и поверхностей AlN после обработки кластерными ионами на разных подложках. Как видно на АСМ-изображениях, на исходных поверхностях наблюдается микроструктура. При магнетронном распылении на мелких равноосных зёрнах, расположенных на поверхности, растут монокристаллиты и с увеличением толщины плёнки приобретают холмистую микроструктуру с осью холмиков, перпендикулярной к поверхности мишени [8, 9]. Латеральный размер микрокристаллитов находится в диапазоне 250–550 нм. В результате обработки кластерными ионами с низкой энергией, приходящейся на атом в кластере E/N_{mean} = 10 эВ/атом (E = 10 кэВ и N_{mean} = 1000 атомов/кластер), максимальный перепад высот поверхности R_q уменьшился до 30 нм – для AlN на ситалле, а для AlN на ситалле R_q уменьшился до 12 нм (что в 11,7 раз меньше от исходного значения) на масштабе 2×2 мкм².

Стоит отметить, что эффективное снижение перепадов высот достигается при малой глубине травления, указанной в таблице ниже для каждого образца. Также после обработки кластерными ионами аргона эффективно снижается и среднеквадратичная шероховатость поверхности, особенно для плёнки AlN на Si – до 1,5-3 нм.

Образец	Энергия атома в кластере E/N _{mean} , эВ/атом	Доза облучения, ионов/см ²	Глубина травления (H), нм
AlN на Ситалле	10	2.3×10 ¹⁶	30
AlN на Si		2.8×10 ¹⁶	40

Образец	Размер области сканирования, мкм	
	2 × 2	10 × 10
	⟨R _q ⟩, нм	
Ситалл	1.7	2.5
Исходный (AlN-Ситалл)	28.7	35.5
Обработанный (AlN-Ситалл)	4.5	11.5
Si	2.5	4.7
Исходный (AlN-Si)	19.5	14.5
Обработанный (AlN-Si)	1.5	3.2



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты экспериментального исследования по обработке поликристаллических плёнок AlN несепарированным ионно-кластерным пучком аргона. Продемонстрировано эффективное сглаживание микрокристаллитов, диаметром в сотни нанометров при малых глубинах травления (30–40 нм). Приведено сравнение результатов сглаживания плёнок AlN, выращенных на разных подложках: ситалле и кремнии. Нитрид алюминия, выращенный на подложке из Si, сглаживается в 4,5-13 раз (в зависимости от размера области сканирования), а плёнка AlN, выращенная на ситалле – в 3-6,3 раза, но необходимо учитывать, что на ситалле шероховатость исходной плёнки AlN в 1,5-2,5 раза хуже, чем на Si.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП "Прикладная физика" НГУ и при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (гранты FSUS-2020-0039, FSUS-2020-0029) и госзадания ОНЦ СО РАН (№ 075-03-2020-614).

ЛИТЕРАТУРА

- Y.Q. Fu et al. // Progr. Mater. Sci., 2017, Vol. 89, P. 31–91.
- V.S. Kudyakova et al. // J. Europ. Cer. Soc., 2017, Vol. 37, P. 1143–1156.
- N. Toyoda and I. Yamada // AIP Conf. Proc., 2006, Vol. 866, P. 210–213.
- I. Yamada et al. // Mater. Sci. Engin. R, 2001, Vol. 34, P. 231–295.
- N.G. Korobeishchikov et al. // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B, 2019, Vol. 438, P. 1–5.
- N.G. Korobeishchikov et al. // Appl. Phys. A, 2018, Vol. 124, Article No. 833.
- Н.Г. Коробейщиков, И.В. Николаев, М.А. Роевко // ПЖТФ, 2019, Т. 45, В. 6, С. 30–32.
- B.-H. Hwang, C.-S. Chen, H.-Y. Lu, T.-C. Hsu // Mat. Sci. Eng. A, 2002, Vol. 325, P. 380–388.
- C. Duquenne et al. // J. Phys. D: Appl. Phys., 2011, Vol. 45, Article No. 015301.