

# МОРФОЛОГИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК АМОРФНОГО Si, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОСАЖДЕНИЯ МЕТОДОМ СВPLD

В.В. Рочева, Е.В. Хайдуков, О.А. Новодворский, В.Я. Панченко  
*Учреждение Российской академии наук Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН*  
E-mail: vrocheva@mail.ru

The Si thin films on sapphire substrates (0001) at deposition temperatures from 20 °C to 650 °C have been obtained. The deposition was performed in the vacuum chamber at  $10^{-6}$  Torr residual pressure, the Si target was ablated by a Q-switching YAG: Nd<sup>3+</sup> laser  $\lambda=1,06$   $\mu\text{m}$  radiation; crossed-beam pulsed laser deposition method (CBPLD) used here makes it possible to avoid drops and clusters falling on the film surface. By the X-ray diffraction method it was established that all the deposited films were amorphous. The dependence of films morphology on deposition temperature has been investigated by the atomic-force microscopy (AFM) method. The films surface analysis by the AFM method showed that there exists the optimum deposition temperature at which the surface has the homogeneous smooth character with the roughness below 1 nm.

Известно, что кремний широко применяется в устройствах электроники и оптоэлектроники. Разработка дешевой технологии напыления ультратонких пленок кремния позволила бы внедрить в уже существующие “кремниевые” технологии процесс создания многослойных структур, в состав которых входят кремниевые слои (материалы для спинтроники, солнечные элементы) [1,2]. Одним из эффективных способов формирования эпитаксиальных тонких пленок является метод лазерно-плазменного напыления (ЛПН) [2,3]. Но при использовании этого метода необходимо избегать попадания капель и кластеров на поверхность пленки. [2,4-6]. В данной работе при напылении пленок кремния использовался метод перекрещивающихся пучков (crossed-beam pulsed laser deposition method, CBPLD), который позволяет избежать попадания капель на подложку и получать пленки с необходимыми параметрами [7].

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Эксперименты проводились в вакуумной камере, которая откачивалась турбомолекулярным насосом до давления  $10^{-6}$  Торр. Мишени в виде дисков из монокристаллического кремния закреплялись в оправе и вращались для однородности выработки мишени. Лазерная эрозионная плазма от кремниевой мишени образовывалась под действием излучения твердотельного ИАГ: Nd<sup>3+</sup> лазера с модуляцией добротности. Длительность импульса по полувысоте составляла 15 нс, энергия в импульсе 300 мДж. Луч делился на два равных, которые затем фокусировались на поверхность мишеней линзами с фокусным расстоянием 30 см. Площадь пятна фокусировки на мишени составляла 0,65 мм<sup>2</sup>. Расстояние от диафрагмы до подложки составляло 5 см.

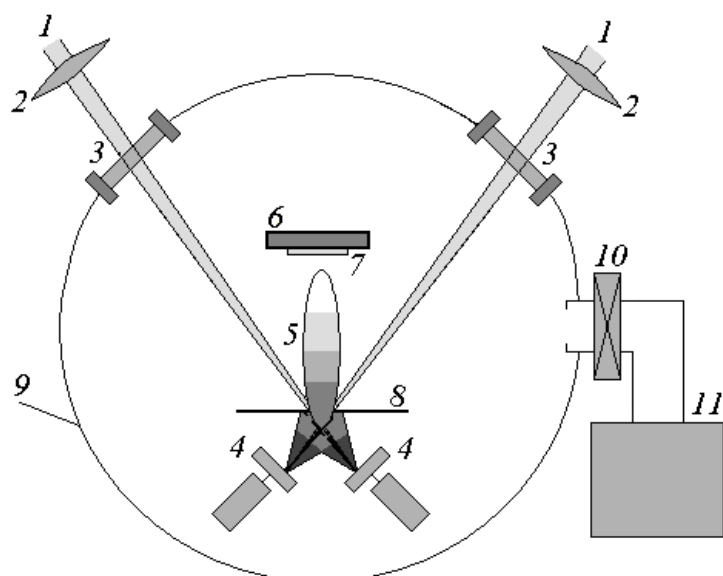


Рис. 1. Схема напылительной установки: 1 – излучение твердотельного ИАГ: $\text{Nd}^{3+}$  лазера, 2 – фокусирующая линза, 3 – окно вакуумной камеры, 4 – мишень, 5 – плазменный пучок, 6 – нагреватель подложки, 7 – подложка, 8 – диафрагма, 9 – вакуумная камера, 10 – вакуумный затвор, 11 – турбомолекулярный насос.

Напыление пленок кремния проводилось при температурах сапфировых подложек 20, 300, 500 и 650 °С. Предварительно для каждой температуры были измерены скорости роста пленок. Скорость роста не зависела от температуры и составляла 1 нм/мин. Полученные образцы пленок кремния толщиной 90 нм исследовались методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) и с помощью рентгеноструктурного анализа. Результаты измерений с помощью АСМ представлены на рис. 2, 3, 4. Анализируя результаты видно, что все полученные пленки кремния имеют на поверхности характерные образования латеральными размерами от 10 до 300 нм и высотами от 5 до 70 нм (рис. 4). Причем количество образований явно зависит от температуры роста пленки: при 300 °С количество образований минимально, при 500 °С их количество резко возрастает, а при дальнейшем увеличении температуры подложки до 650 °С количество образований вновь уменьшается (но не меньше чем при 300 °С). Дальнейшее увеличение температуры подложки на 100 °С приводит к резкому снижению скорости роста, поэтому становится невозможным получение образца пленки кремния нужной толщины.

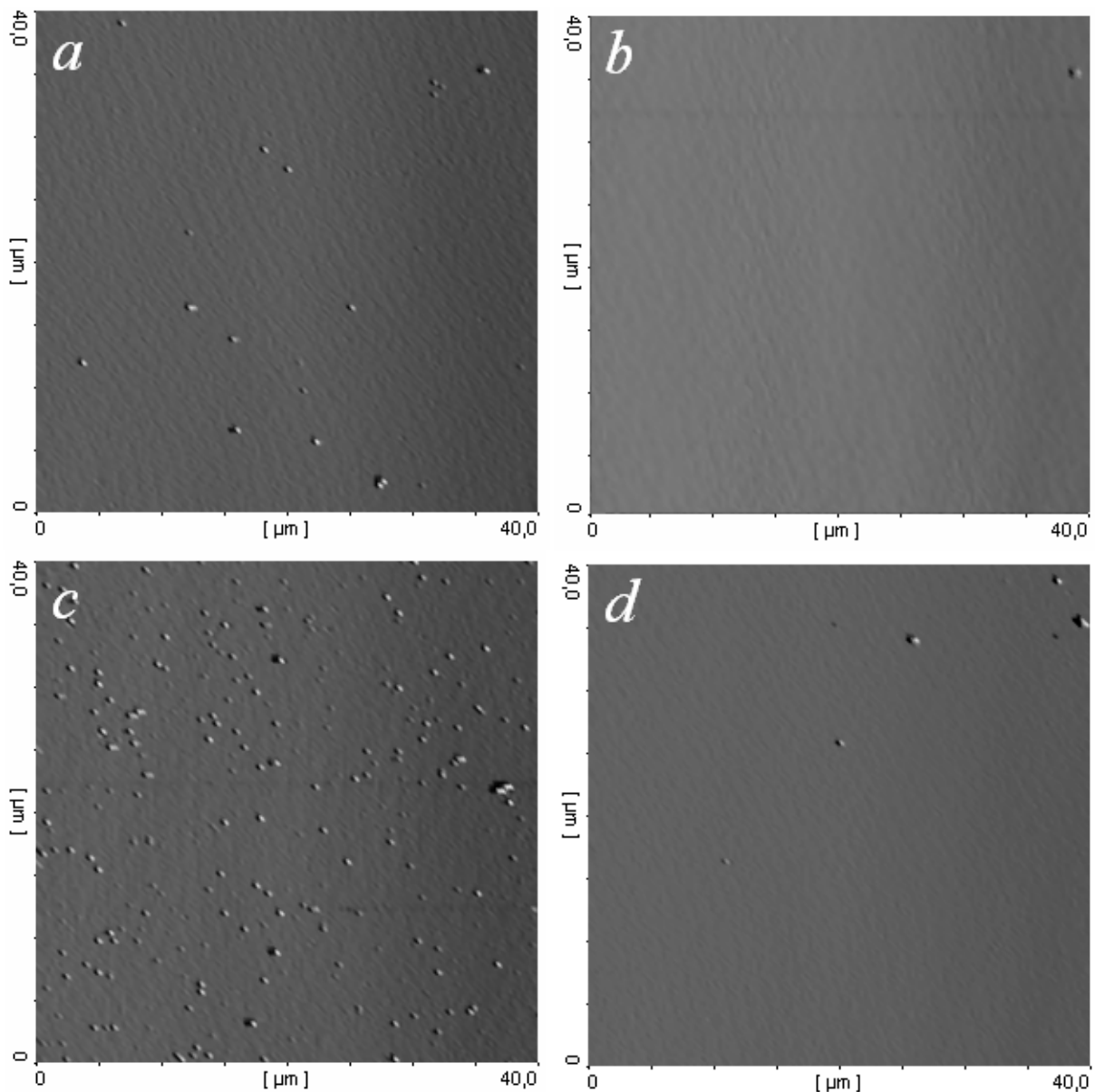


Рис. 2. АСМ изображение пленок кремния толщиной 90 нм: *a* – температура подложки 20<sup>0</sup>С, *b* - температура подложки 300<sup>0</sup>С, *c* – температура подложки 500<sup>0</sup>С, *d* – температура подложки 650<sup>0</sup>С.

Установлено, что шероховатость плоской поверхности пленок между образованиями составляет не более 1 нм для всех температур роста (рис. 3).

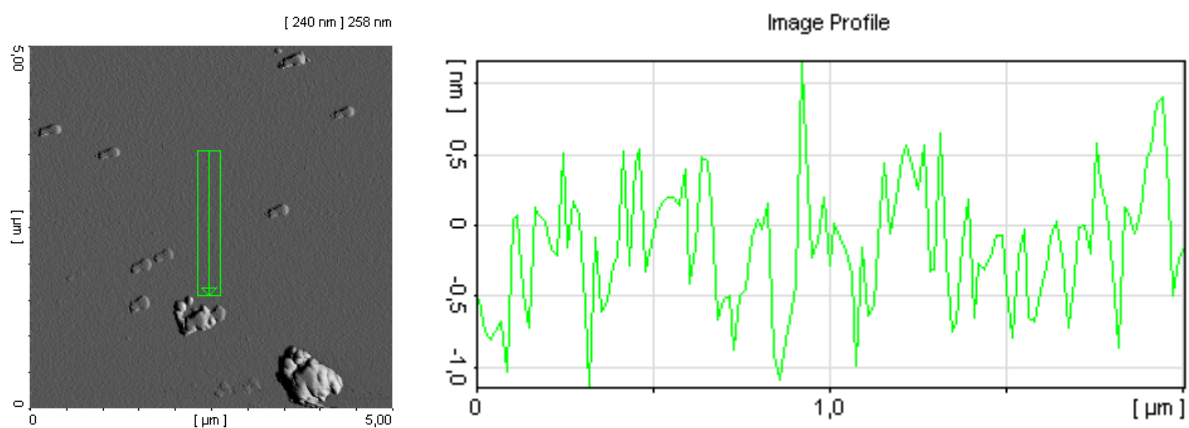


Рис. 3. АСМ изображение пленки кремния, полученной при температуре 500<sup>0</sup>С и профиль ее плоской поверхности.

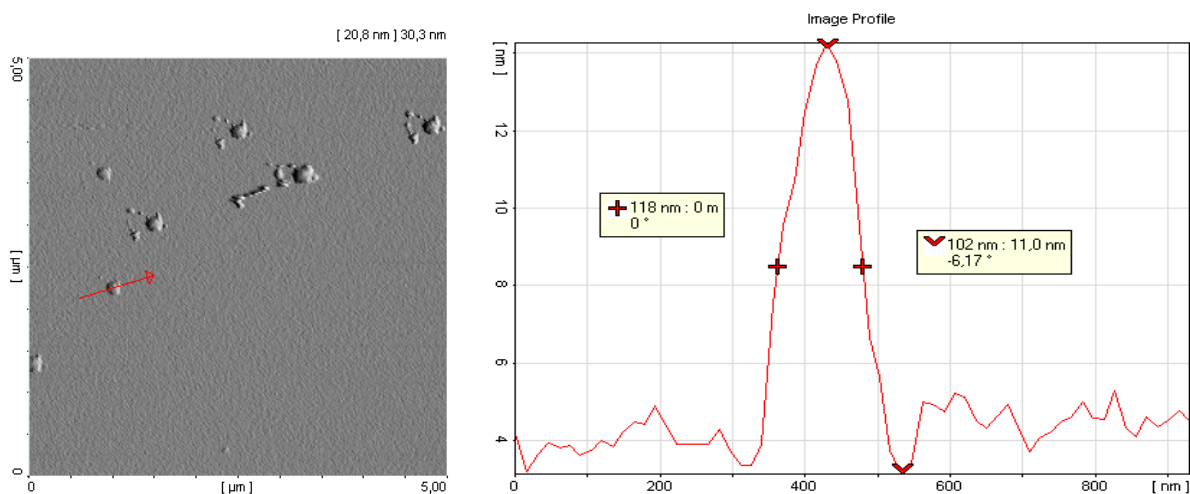


Рис. 4. АСМ изображение пленки кремния, полученной при температуре  $500^{\circ}\text{C}$  и профиль характерного образования на поверхности пленки.

Для всех полученных образцов пленок кремния проводился рентгеноструктурный анализ в схеме  $2\theta-\theta$  с щелью 1 mm перед детектором и Ni фильтром, чтобы уменьшить вклад  $K_{\beta}$ -серии рентгеновского излучения и подавить  $W_L$ -серию. На рис. 5 показаны дифрактограммы образцов четырех пленок кремния, осажденных при температурах сапфировых подложек 20, 300, 500 и  $650^{\circ}\text{C}$ . Видно, что дифрактограммы образцов пленок, полученных при разных температурах, практически совпадают.

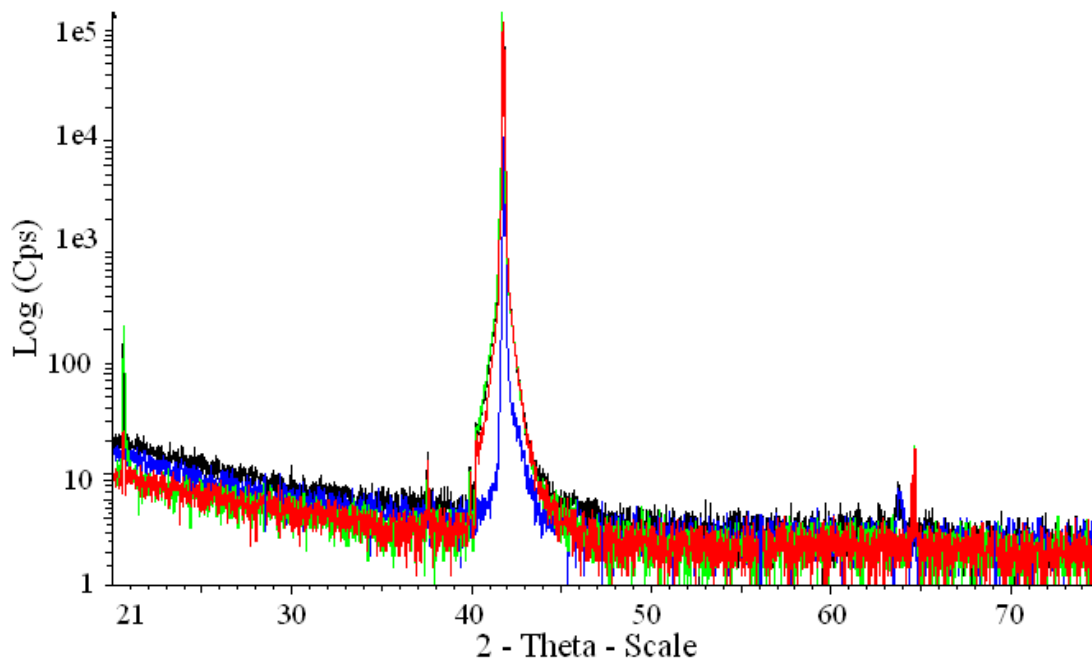


Рис.5. Дифрактограммы четырех пленок кремния, осажденных при температурах сапфировых подложек  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$  и  $650^{\circ}\text{C}$ .

Качественный фазовый анализ показал, что все пленки являются аморфными, так как на дифрактограммах не обнаруживаются пики от кристаллического Si.

Таким образом, установлена оптимальная температура осаждения пленок кремния методом СВPLD, при которой поверхность имеет однородный

гладкий характер с шероховатостью не более 1 nm – 300 °С. Установлено, что все полученные образцы пленок кремния являются аморфными.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 09-08-00291, № 09-02-12108, № 09-08-01053.

1. M.Bolduc, C.Awo-Affoud., A.Stollenwerk et al. // Phys. Rev. B. 2005. V. 71. P. 033302-033305.
2. S.Yasuda, T.Chikyow, S.Inoue, N.Matsuki, K.Miyazaki, S.Nishio, M.Kakihana, H.Koinuma // Appl. Phys. A. 1999. V. 69. P. S925-S927.
3. В.Я.Панченко, О.А.Новодворский, В.С.Голубев // Наука и технологии в промышленности. 2006. № 4. Часть 1. С. 39-51.
4. Е.В.Хайдуков, А.А.Лотин, Д.Н.Мельников, О.А. Новодворский, В.Я.Панченко. // Труды IX Межвузовской школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине». Москва. НИИЯФ МГУ. 2008. С. 127-131.
5. A.Masuda, K.Matsuda, S.Usui, T.Minamikawa, T.Shimizu, A.Morimoto, Y.Yonezawa // Mater. Sci. Eng. B. 1996. V. 41. P. 161-165.
6. Е.В.Хайдуков, А.А.Лотин, О.А.Новодворский, В.Я.Панченко, В.В.Рочева // Сборник тезисов докладов научно-технических секций Международного Форума по Нанотехнологиям. Москва. 2008. Т. 1. С. 771-772.
7. A.Gorbunov, A.Tselev, W.Pompe // Proceedings of SPIE. 1999. V. 3688. P. 351-358.