УДК 621.315.592

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

[1]Малинкович М.Д., [1]Пархоменко Ю.Н., [1]Канаева Е.С., [2]Блиев А.П., [2]Гриценко А.В.

[1]Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»;

[2]Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, e-mail: Malinkovich@yandex.ru

Алмазоподобные кремний-углеродные пленки представляют собой новый класс аморфных материалов, сочетающих ряд свойств, близких к свойствам алмаза. Особенностью аморфных кремний-углеродных пленок, содержащих металл, является то, что они имеют нанокластерную структуру. Это существенно отличает их от других аморфных материалов, в частности, от полупроводников Si и Ge, и они представляют самостоятельный фундаментальный интерес для наноструктурных технологий. В качестве образцов были использованы легированные (Pd, Pt, Ta), а также нелегированные кремний-углеродные пленки, синтезированные на основе кремний-углеродного соединения полифенилметилсилоксана (ПФМС). Проанализировав полученные данные можно сделать вывод о том, что величина шероховатости в протравленной области кремний-углеродных пленок легированных Pt увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с непротравленной областью. Примерно такие же изменения в величине шероховатости наблюдаются у кремний-углеродных пленок легированных Pd. Размер шероховатости у кремний-углеродных пленок легированных Ta практически не изменяется.

Ключевые слова: топография поверхности, кремний-углеродные пленки

STUDY THE TOPOGRAPHY OF THE SURFACE OF SILICON-CARBON FILMS

[1]Malinkovich M.D., [1]Parkhomenko Y.N., [1]Kanaeva E.S., [2]Bliev A.P., [2]Gritsenko A.V.

[1]National research technological university «MISIS»;

[2]North Ossetia state university, e-mail: Malinkovich@yandex.ru

Diamond silicon – carbon films are a new class of amorphous materials that combine a number of properties similar to those of diamond. Feature of amorphous silicon – carbon films containing metal, is that they have a nanocluster structure. This distinguishes them from other amorphous materials, in particular semiconductors Si and Ge, and they are independent of fundamental interest to nano technology. The samples were used alloy (Pd, Pt, Ta), and no-doped silicon – carbon films were synthesized on the basis of the silicon-carbon compound polifenilmetilsiloksana (PPMS). After analyzing the data it can be concluded that the value of the roughness of the etched silicon-carbon films doped with Pt increased approximately 2-fold compared with neprotravlennoy area. At about the same changes in the value of the roughness observed in the silicon-carbon films doped with Pd. The size of the roughness at the silicon-carbon films doped with Ta virtually unchanged.

Keywords: surface topography, silicon – carbon films

Алмазоподобные кремний-углеродные пленки представляют собой новый класс аморфных материалов, сочетающих ряд свойств, близких к свойствам алмаза [1].

Особенностью аморфных кремний – углеродных пленок, содержащих металл, является то, что они имеют нанокластерную структуру. Это существенно отличает их от других аморфных материалов, в частности, от полупроводников Si и Ge, и они представляют самостоятельный фундаментальный интерес для наноструктурных технологий [2].

Матрица пленок, обладая всеми достоинствами алмазоподобных материалов, может накапливать в себе большие концентрации металлов, оставаясь аморфной. Легирующими элементами могут быть простые (Mg, Cu, Ag, Au, Li, Na и др.), переходные металлы (Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zr, Nb и др.) и элементарные полупроводники (Si, Ge, Te и др.) [3]. Структура DLN хорошо описывается моделью взаимно проникающих друг в друга сеток различного типа атомов или молекул, чаще всего дополнительно стабилизированных водородом. Конкретно для рассматриваемых здесь DLN – это сетки –C–C–, –Si–O– и сетка атомов легирующего металла [4]. Благодаря этим свойствам пленки представляют огромный интерес и находят широкое применение в различных отраслях, таких как механика, медицина, биология, оптика, твердотельная электроника, наноэлектроника и др [5].

В качестве образцов были использованы легированные (Pd, Pt, Ta), а также нелегированные кремний-углеродные пленки, синтезированные на основе кремний-углеродного соединения полифенилметилсилоксана (ПФМС). Характеристики этих пленок представлены в табл. 1.

Для исследования влияния плазмохимического травления на рельеф поверхности образцов кремний-углеродных пленок, часть поверхности легированных кремний-углеродных пленок была протравлена. Скорость травления определяется отдельно на легированных и нелегированных образцах пленки. Травление производилось в плазме аргона, высокочастотный потенциал на подложке 1 кВ. Скорость травления нелегированной матрицы превышает скорость травления легированной пленки в 3 раза.

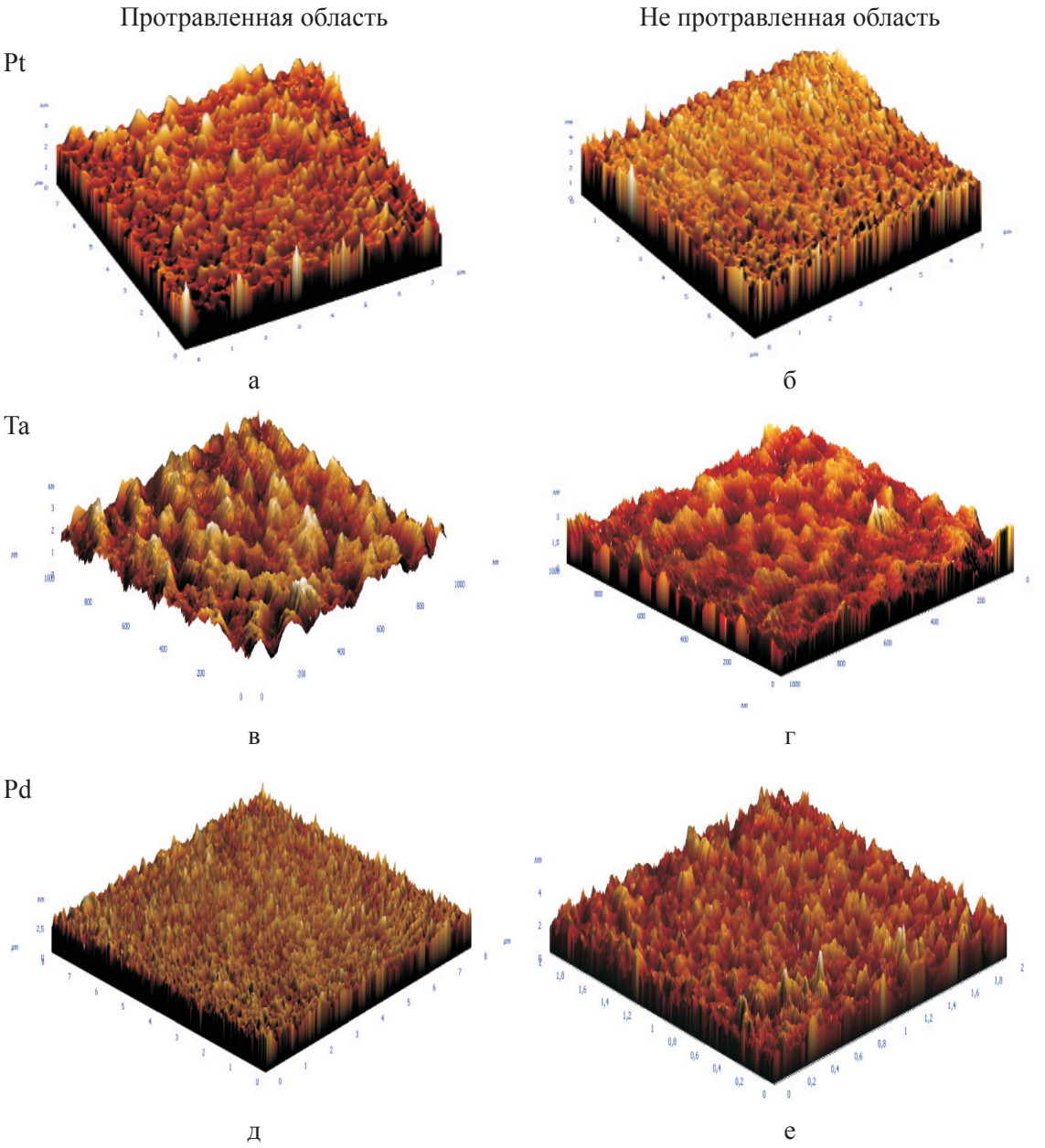


Рис. 1. АСМ изображения кремний-углеродной пленки, легированной Pt, Ta, Pd в протравленной (а, в, д) и не протравленной (б, г, е) области

Таблица 1

Исходные данные нелегированных образцов

	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Толщина пленки, мкм	50–60	9	16
Время роста пленки, час	6,5	3	7
Скорость роста пленки, мкм/час	9	3	2
Uвч, кВ	0,1	1,5	0,5

Нелегированные образцы исследовались с применением атомно-силовых методик (т.к. эти пленки являются хорошими диэлектриками), а легированные образцы исследовались с применением как атомно-силовых, так и туннельных методик.

Результаты, полученные атомно-силовыми методиками

В результате проведенных исследований на установке NTEGRA Прима по изучению топографии поверхностей на образцах кремний-углеродных пленок с включени-

ями металлических гранул Pt, Pd, Ta с использованием атомно-силовых методик были получены образы этих поверхностей (рис. 1) и систематизированы в табл. 2 и 3 по величине пиков.

Проанализировав данные таблицы, можно сделать вывод о том, что максимальная величина шероховатости наблюдается у кремний-углеродных пленок, легированных Pd. По результатам, полученным контактным методом, значительных изменений в величине шероховатости в протравленных и не протравленных областях не наблюдается. При использовании полуконтактного метода изменения в величинах шероховатостей наблюдаются у кремний-углеродных пленок, легированных Pt более чем в 2 раза, у Pd в пределах ошибки.

Таблица 2

Экспериментальные данные полученные в контактной моде на легированных кремний-углеродных пленках

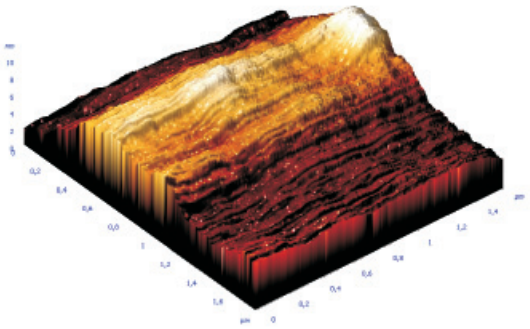
		Pt	Pd	Ta
Max (Zmax, максимальная высота пика)	протравленный	0,24 nm	11,81 nm	0,18 nm
	не протравленный	0,18 nm	10,59 nm	0,14 nm
Min (Zmin, минимальная высота пика)	протравленный	–0,23 nm	–8,75 nm	–0,22 nm
	не протравленный	–0,92 nm	–9,31 nm	–0,18 nm
Peak-to-peak, Ry Ry Zmax – Zmin, размах высот (peak to peak value, ISO4287/1), nm	протравленный	0,47 nm	20,56 nm	0,41 nm
	не протравленный	1,11 nm	19,89 nm	0,32 nm
Ten point height, Rz Rz = 1/5(Zmax1 + Zmax2 + + Zmax3 + Zmax4 + Zmax5 – – Zmin1- Zmin2- Zmin3- Zmin4- Zmin5), десять точек по высоте, (ten point height, ISO 4287/1), параметр выражает шероховатость поверхности по выбранным пяти максимальным высотам и впадинам, nm	протравленный	–0,004 nm	1,44 nm	–0,016 nm
	не протравленный	–0,11 nm	0,49 nm	–0,0079 nm
Average (среднее значение)	протравленный	–0,006 nm	0,0003 nm	–4,1E–05 nm
	не протравленный	0,0002 nm	0,00003 nm	1,6E–05 nm
Average Roughness, Ra (средняя шероховатость)	протравленный	0,08 nm	2,65 nm	0,09 nm
	не протравленный	0,06 nm	3,61 nm	0,048 nm
Dispersion	протравленный	0,09 nm	3,47 nm	0,11 nm
	не протравленный	0,11 nm	3,27 nm	0,06 nm

Таблица 3

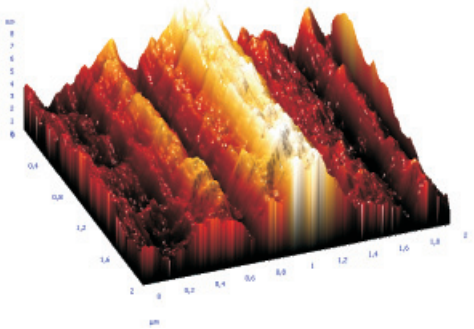
Экспериментальные данные, полученные в полуконтактной моде на легированных кремний-углеродных пленках

		Pt	Pd	Ta
Max	протравленный	2,71 nm	5,67 nm	0,18 nm
	не протравленный	0,67 nm	5,09 nm	0,17 nm
Min	протравленный	–1,82 nm	–4,47 nm	–0,26 nm
	не протравленный	–0,89 nm	–5,81 nm	–0,18 nm
Peak-to-peak, Ry	протравленный	4,53 nm	10,15 nm	0,44 nm
	не протравленный	1,57 nm	10,89 nm	0,35 nm
Ten point height, Rz	протравленный	0,38 nm	0,31 nm	–0,031 nm
	не протравленный	–0,12 nm	–0,28 nm	0,006 nm
Average	протравленный	0,0002 nm	0,0006 nm	–2,6E–05 nm
	не протравленный	–0,009 nm	4,2E–05 nm	1,8E–06 nm
Dispersion	протравленный	0,82 nm	2,49 nm	0,11 nm
	не протравленный	0,36 nm	2,92 nm	0,07 nm
Average Roughness, Ra	протравленный	0,66 nm	1,89 nm	0,09 nm
	не протравленный	0,31 nm	2,52 nm	0,06 nm

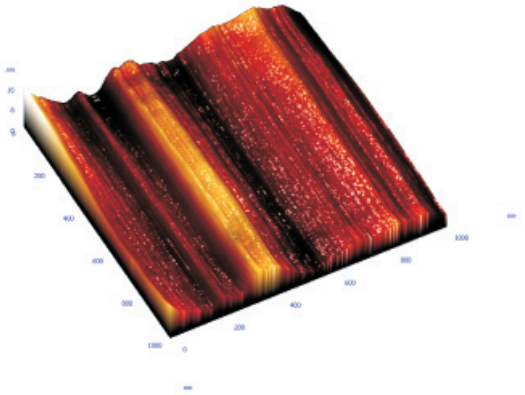
Результаты, полученные при исследовании топографии поверхности нелегированных кремний-углеродных пленок контактным и полуконтактным методами, представлены образами этих поверхностей (рис. 2) и сведены в табл. 4 и 5.



а – толщина пленки 9 мкм



б – Толщина пленки 16 мкм



в – Толщина пленки 50 мкм

Рис. 2. АСМ изображения нелегированных кремний-углеродных пленок

Таблица 4

Экспериментальные данные, полученные в контактной моде на нелегированных кремний-углеродных пленках

	Образец 1 (50–60 мкм)	Образец 2 (9 мкм)	Образец 3 (16 мкм)
Max	0,11 nm	0,41 nm	0,24 nm
Min	–0,07 nm	–0,11 nm	–0,26 nm
Peak-to-peak, Ry	0,18 nm	0,52 nm	0,51 nm
Ten point height, Rz	–0,006 nm	0,05 nm	–0,009 nm
Average	–0,0002 nm	–0,0007 nm	–0,0018 nm
Average Roughness, Ra	0,024 nm	0,052 nm	0,11 nm
Dispersion	0,049 nm	0,066 nm	0,13 nm

Таблица 5

Экспериментальные данные, полученные в полуконтактной моде на нелегированных кремний-углеродных пленках

	Образец 1 (50–60 мкм)	Образец 2 (9 мкм)	Образец 3 (16 мкм)
Max	0,12 nm	0,14 nm	0,21 nm
Min	–0,09 nm	–0,12 nm	–0,28 nm
Peak-to-peak, Ry	0,21 nm	0,26 nm	0,49 nm
Ten point height, Rz	–0,005 nm	0,009 nm	–0,039 nm
Average	–0,0007 nm	1,7E–05 nm	0,00014 nm
Average Roughness, Ra	0,03 nm	0,04 nm	0,081 nm
Dispersion	0,03 nm	0,05 nm	0,11 nm

Ранее было показано, что при высоких пиковых значениях импульса пленки получаются наименее равновесные, более напряженные, и эти обстоятельства могут оказать влияние на величину шероховатости.

Результаты, полученные туннельными методиками

В результате проведенных исследований на установке NTEGRA Прима по изучению топографии поверхностей на образцах кремний-углеродных пленок с включениями металлических гранул Pt, Pd, Ta с использованием туннельной методики (постоянного тока) были получены СТМ изображения этих поверхностей (рис. 3) и систематизированы в табл. 6 по величине пиков.

Проанализировав данные таблицы, можно сделать вывод о том, что величина шероховатости в протравленной области кремний-углеродных пленок, легированных Pt ,увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с непротравленной областью. Примерно такие же изменения в величине шероховатости наблюдаются у кремний-углеродных пленок легированных Pd. Размер шероховатости у кремний-углеродных пленок легированных Ta, практически не изменяется.

Не протравленная область

Протравленная область

Pt

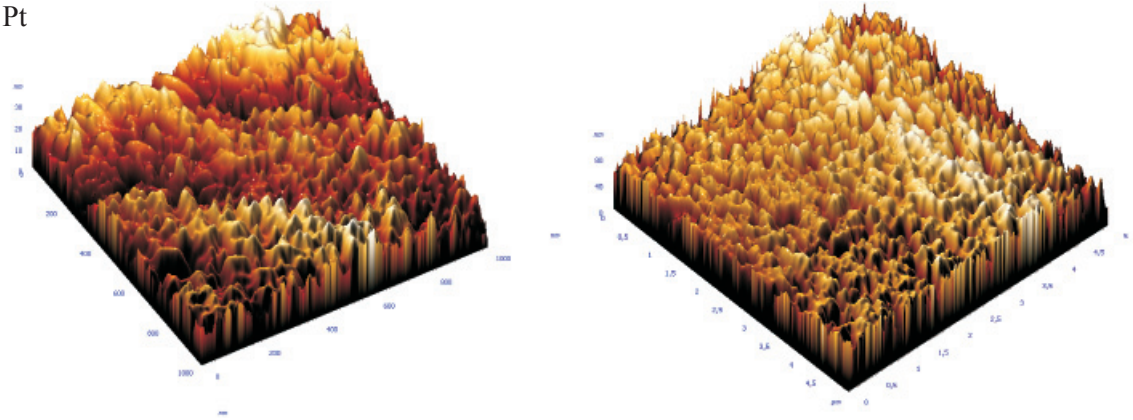


Рис. 3. СТМ изображения кремний-углеродной пленки, легированной Pt, в протравленной и не протравленной областях

Таблица 6

Экспериментальные данные, полученные в туннельной моде на легированных кремний-углеродных пленках

		Pt	Pd	Ta
1	2	3	4	5
Max	протравленный	1,29 nm	2,71 nm	1,32 nm
	не протравленный	0,48 nm	1,53 nm	1,28 nm
Min	протравленный	–1,32 nm	–2,37 nm	–0,79 nm
	не протравленный	0,41 nm	–1,84 nm	–0,53 nm
Peak-to-peak, Ry	протравленный	2,61 nm	5,08 nm	2,11 nm
	не протравленный	0,07 nm	3,37 nm	1,81 nm
Ten point height, Rz	протравленный	0,006 nm	0,21 nm	0,14 nm
	не протравленный	–0,008 nm	–0,071 nm	0,29 nm

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5
Average	протравленный	1,2E–05 nm	–0,007 nm	–0,00014 nm
	не протравленный	1,64E–06 nm	0,027 nm	2,8E–05 nm
Average Roughness, Ra	протравленный	0,41 nm	0,91 nm	0,28 nm
	не протравленный	0,26 nm	0,58 nm	0,24 nm
Dispersion	протравленный	0,53 nm	1,14 nm	0,35 nm
	не протравленный	0,24 nm	0,70 nm	0,31 nm

Данные, полученные в полуконтактной моде, хорошо коррелируют с данными, полученными в туннельной моде (постоянного тока), что говорит об адекватности полученных данных.

Список литературы

1. Концевой Ю.А. Алмазоподобные плёнки – технология, свойства, применения // Сб. Фундаментальные проблемы российской металлургии на пороге XXI века / под ред. М.Г. Мильвидского, В.Б. Уфимцева. – Т. 4. –М., – 1998. – С. 193.

2. Малинкович М.Д., Пархоменко Ю.Н., Шупегин М.Л. // Нанокомпозиты с кремний-углеродной матрицей. – М.: МИСиС, 2004.

3. Малинкович М.Д., Шупегин М.Л., Сагалова Т.А., Федоров А.Н. // VI Международная конференция «Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы». – Ульяновск – Сочи, 2004.

4. Alfred Grill Diamond-like carbon: state of the art // Diamond and Related Materials 8. – 1999. – P. 428–434

5. Dorfman V.F. Thin Solid Films. – 1991. – Vol. 212. – P. 267.

References

1. Koncevoj Ju.A. Almazopodobnye pljonki – tehnologija, svojstva, primenenija // Sb. Fundamental'nye problemy rossijskoj metallurgii na poroge XXI veka. T. 4. Pod red. Mil'vidskogo M.G., Ufimceva V.B. M., 1998. pp. 193.

2. Malinkovich M.D., Parhomenko Ju.N., Shupegin M.L. // Nanokompozity s kremnij-uglerodnoj matricej. M.: MISiS, 2004.

3. Malinkovich M.D, Shupegin M.L., Sagalova T.A., Fedorov A.N. // VI Mezhdunarodnaja konferencija «Opto-, nanojelektronika, nanotehnologii i mikrosistemy» Ul'janovsk Sochi, 2004.

4. Alfred Grill Diamond-like carbon: state of the art // Diamond and Related Materials 8 (1999) 428–434.

5. Dorfman V.F. Thin Solid Films, Vol. 212 (1991), p. 267.

Рецензенты:

Магкоев Т.Т., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой общей физики, ФГБОУ ВПО «Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова», Министерство образования и науки Российской Федерации, г. Владикавказ;

Козырев Е.Н., д.т.н., д.э.н., заведующий кафедрой электронных приборов ФГБОУ ВПО СКГМИ, г. Владикавказ.

Работа поступила в редакцию 07.12.2012.