

КВАЗИФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ,
ПОЛИМЕРИЗОВАННЫХ В ПЛАЗМЕВ. Ф. Д о р ф м а н, Б. Н. П ы п к и н, А. Б. Г о ф м а н,
И. О. Д о р о н и н, Р. А. К р и в а с

Аморфные гидрогенизированные пленки на основе кремния и углерода обладают уникальным сочетанием электрофизических, оптических, механических и химических свойств [1-3].

Сопряжение процесса плазменной полимеризации углеродосодержащих радикалов и конденсации потока свободных (распыленных) атомов кремния позволяет получать непрерывную гамму этих метастабильных материалов от аморфизованного кремния (Si^*) до аморфизованного углерода (C^*), включая карбидо-подобные состояния (SiC^*).

В данной работе проведено сравнительное комплексное исследование аморфизованных гидрогенизированных пленок в системе кремний-углерод и обнаружены некоторые критические соотношения кремния и углерода, при переходе через которые свойства пленок резко меняются т. е. наблюдаются квазифазовые состояния этих метастабильных материалов.

В вакуумной камере одновременно осуществляются генерация плазмы в среде $Ar+C_2H_2$ и распыление кремниевой мишени ионами Ar^+ .

Толщина пленок определялась с помощью эллипсометра ЛЭФ-3М. Распределение состава покрытий по толщине определялось методом Оже-профилирования. Измерения проводились на микроанализаторе поверхности LAS 3000 "Riber".

Р е з у л ь т а т ы и о б с у ж д е н и я

Зависимости скорости роста, состава и параметров пленок от парциального давления C_2H_2 приведены на рис. 1-2.

Как видно из рис. 1, а, по кинетике роста пленок выделяются две основные области режимов, разделенные резким переходом (падением скорости роста). Это наблюдение полностью коррелирует с кинетикой роста пленок системы титан-углерод [4] и системы кремний-углерод [5] в аргон-метановой плазме. Авторы [5] связывают этот эффект с увеличением степени экранирования мишени атомами углерода и углеводородными фрагментами с повышением содержания углеводородного газа в газовой фазе. Так как коэффициент распыления углерода в 2.5 раза меньше, чем у кремния, то скорость роста осаждающейся пленки падает. Однако, как видно из рис. 1, б, одновременно с падением общей скорости роста пленки резко возрастает парциальная скорость конденсации углерода. Следовательно, в узком диапазоне парциальных давлений C_2H_2 (от $4.0 \cdot 10^{-3}$ Па до

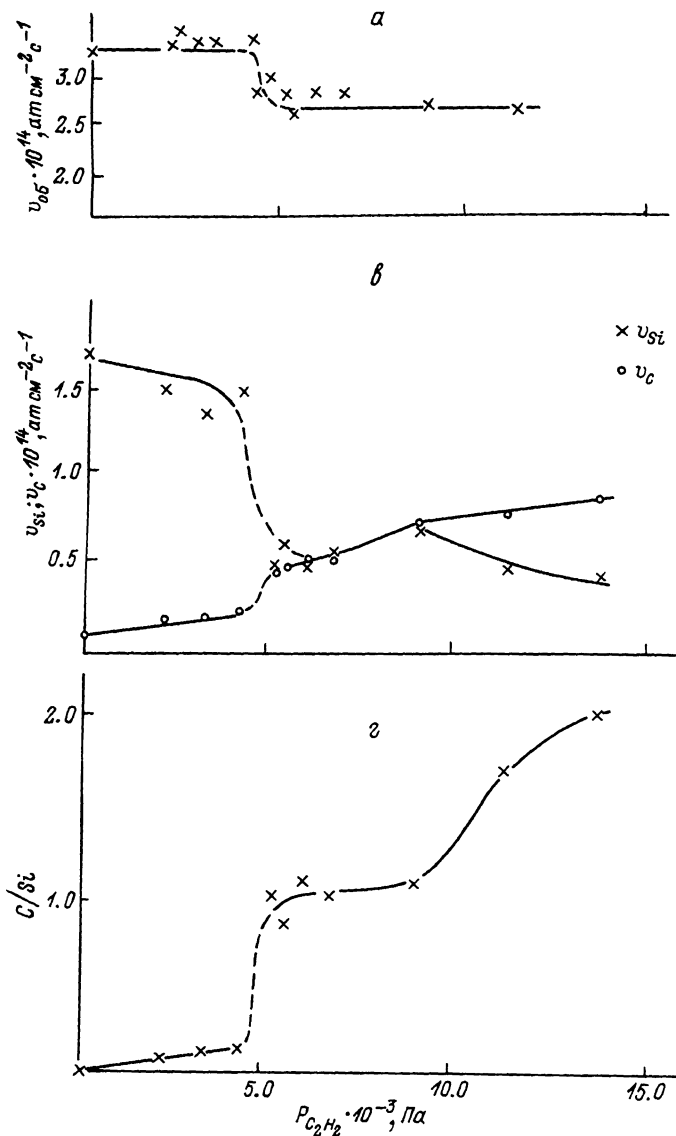


Рис. 1. Зависимости скорости роста пленок v_{05} (а), парциальных скоростей конденсации кремния v_{Si} и углерода v_C (б) и их атомного соотношения в пленке (в) от парциального давления $P_{C_2H_2}$ ($P_{C_2H_2} + P_{Ar} = 7.5 \cdot 10^{-3}$ Па = const).

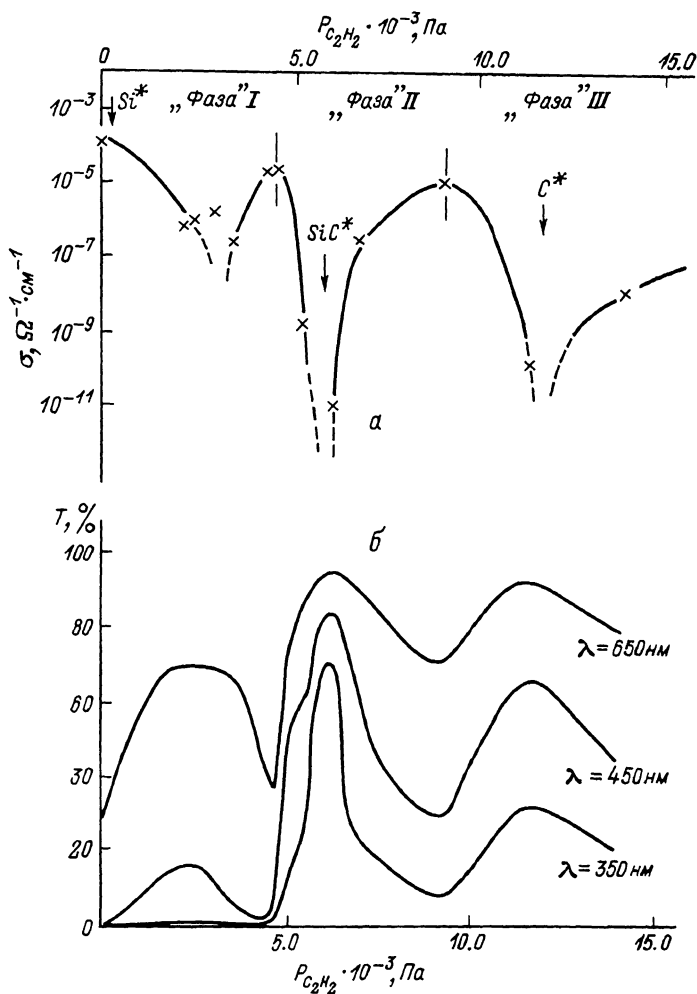


Рис. 2. Зависимости электропроводности σ (а) и пропускания T пленок толщиной 250 нм для различных длин волн (б) от парциального давления $P_{C_2H_2}$.

$5.0 \cdot 10^{-3}$ Па) одновременно происходит скачкообразное уменьшение скорости распыления мишени и увеличение скорости полимеризации углеродосодержащих радикалов на подложке, и наблюдается соответствующий этим кинетическим изменениям скачок состава пленок.

Из рис. 1, в видно, что в исследуемом диапазоне парциальных давлений C_2H_2 выделяются три области режимов.

- 1) $0 \leq P_{C_2H_2} \leq 5.0 \cdot 10^{-3}$ Па, где растут пленки, сильно обогащенные кремнием.
- 2) $5.0 \cdot 10^{-3}$ Па $\leq P_{C_2H_2} \leq 9.0 \cdot 10^{-3}$ Па, где состав пленок соответствует карбиду кремния.
- 3) $P_{C_2H_2} > 9.0 \cdot 10^{-3}$ Па, где формируются пленки, сильно обогащенные углеродом.

В дальнейшем будем называть пленки, образующиеся в соответствующих диапазонах режимов, квазифазой кремния, квазифазой карбида кремния и квазифазой углерода. Все эти квазифазы аморфизованы и гидрогенизированы. Из рис. 2, а, б видно, что граничным условиям образования квазифаз соответствуют экстремальные значения (максимумы) электропроводности σ и минимумы пропускания. Т. В то же время в пределах каждой квазифазы наблюдаются резкие минимумы электропроводности и максимумы пропускания.

Совокупность наблюдаемых явлений объясняется, если предположить, что в каждом из трех основных диапазонов процесса механизм роста пленок определяется ведущей квазифазой.

1. В диапазоне парциальных давлений C_2H_2 $0 \leq P_{C_2H_2} \leq 5.0 \times 10^{-3}$ Па, т. е. в условиях формирования квазифазы кремния ведущий механизм конденсации углерода — окклюзия его потоком распыленного кремния. Этот механизм возможен только для радикалов с ненасыщенными валентными связями углерода, концентрация которых в плазме является сублинейной функцией $P_{C_2H_2}$. Соответственно парциальная скорость конденсации углерода в этом диапазоне слабо зависит от исходного содержания C_2H_2 .

2. В диапазоне $5.0 \cdot 10^{-3}$ Па $\leq P_{C_2H_2} \leq 9.0 \cdot 10^{-3}$ Па происходит квазикритический переход к новому режиму процесса: и на поверхности мишени, и на поверхности растущей пленки образуется хемосорбированный слой углеродосодержащих радикалов. Блокировка мишени хемосорбатом снижает скорость ее распыления, и устанавливается динамическое равновесие, при котором на подложке формируется близкий к стехиометрическому карбид кремния. Во всем данном диапазоне парциальных давлений C_2H_2 процесс самостабилизируется благодаря десорбции избыточного углерода.

Однако стехиометрия поддерживается только на „химическом“ уровне. На „физическом“ уровне малые отклонения от стехиометрии определяют электрические и оптические свойства пленок.

3. При $P_{C_2H_2}$ выше $9.0 \cdot 10^{-3}$ Па самостабилизированный рост карбида кремния нарушается, и ведущей становится квазифаза аморфизованного углерода, образующаяся в результате прямой плазменной полимеризации углеродосодержащих радикалов.

Минимум электропроводности в диапазоне 3 можно объяснить тем, что кремний блокирует образование sp^2 состояний атомов углерода и препятствует графитизации пленки. Этот вывод косвенно подтверждается высокой термостабильностью кремнийсодержащих углеродных пленок. Но при высоких парциальных дав-

лениях C_2H_2 концентрация кремния в пленке недостаточна для блокирования графитизации, и электропроводность пленки вновь возрастает.

Изменяя состав исходного потока, можно получить практически весь спектр аморфных гидрогенизированных материалов в системе кремний-углерод, включая „карбидоподобные” и „алмазоподобные” состояния. Смены этих состояний достаточно ярко выражены и носят определенные черты кинетических квазифазовых переходов. Соответствующие изменения оптических и электрофизических параметров пленок хорошо коррелируют. Диапазон регулируемого изменения параметров весьма широк: пропускание ($\lambda = 350$ нм) для пленок толщиной 250 нм от 1.5% до 70.0% (коэффициент поглощения α от $1.68 \cdot 10^5$ см⁻¹ до $1.43 \cdot 10^4$ см⁻¹); электропроводность от 10^{-5} Ом⁻¹ · см⁻¹ до 10^{-11} Ом⁻¹ · см⁻¹.

Л и т е р а т у р а

- [1] Д о р ф м а н В.Ф., П е т р у ш и н и н а С.А., П ы п к и н Б.Н., С м и р н о в Ю.П. - Докл. АН СССР, 1983, в. 272 (1), с. 69-73.
- [2] Д о р ф м а н В.Ф., П е т р у ш и н и н а С.А., П ы п к и н Б.Н. Сб. трудов ИНЭУМ, М., 1983, в. 99, с. 85-98.
- [3] N o b u o S a i t o. - J. Appl. Phys., 1986, v.59, N 7, p. 2498-2501.
- [4] S u n d g r e n J.-E., K a r l s s o n S.-E. - Suppl., 1981, v. 201, p. 23-26.
- [5] G o r a n c h e v B., R e i c h e l t K., C h e v a l l i e r J., H o r n s h o j P., D i m i g e n H., H ü b s c H. -Thin Solid Films, 1986, v. 139, p. 275-285.

Поступило в Редакцию
15 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 11 12 июня 1988 г.

ГЕНЕРАЦИЯ СУБПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ЛАЗЕРЕ НА КРАСИТЕЛЕ С СИНХРОННОЙ НАКАЧКОЙ ОГРАНИЧЕННЫМ ЦУТОМ СКИ.

А.В. О к и ш е в

В настоящее время генерация субпикосекундных перестраиваемых по частоте импульсов осуществляется при помощи непрерывных лазеров на красителях с синхронной накачкой или пассивной синхронизацией мод [1, 2]. Длительность импульсов, генерируемых этими лазерами, составляет 0.1-0.3 пс, однако