

©1995 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК α -C:H, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

В.Х.Кудоярова, В.Л.Аверьянов, А.В.Чернышев, М.Б.Полов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, Россия

(Получена 16 декабря 1994 г. Принята к печати 19 декабря 1994 г.)

Проведено комплексное исследование состава, структуры и электрических свойств углеродных пленок (α -C:H) с точки зрения удовлетворения требованиям, предъявляемым к защитным покрытиям электрофотографических носителей информации. Пленки α -C:H были получены низкотемпературным осаждением тремя различными методами: магнетронным распылением графитовой мишени в аргоноводородной атмосфере, магнетронным распылением графитовой мишени в сочетании со стимулированным плазмой газофазным осаждением из смеси газов (10%CH₄ + 90%Ar) и ВЧ-разложением смеси газов (10%CH₄ + 90%Ar). Показано, что при низкотемпературном осаждении могут быть получены твердые алмазоподобные, высокоомные пленки α -C:H, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к защитным покрытиям электрофотографических носителей информации. Приводятся результаты исследований основных электрофотографических параметров электрофотографических носителей информации с защитным покрытием и без него. Установлено, что срок хранения на воздухе и прочностные свойства электрофотографических носителей информации с защитным покрытием из α -C:H возрастают.

1. Введение

Одной из проблем, стоящих перед создателями электрофотографических носителей информации (ЭФНИ), является повышение их тиразжестойкости. Эту проблему можно разделить на две: а) повышение изностойкости, т.е. стойкости к истиранию; б) увеличение кристаллизационной стойкости ЭФНИ. Последнее особенно актуально для ЭФНИ на основе селена и его сплавов.

В качестве слоя защитного покрытия ЭФНИ могут быть использованы твердые слои на основе четырех координированных аморфных полупроводников α -Si_{1-x}C_x:H [1] и α -C:H [2,3].

Большой интерес к аморфным гидрогенизированным пленкам углерода ($a\text{-C:H}$) определяется рядом их уникальных свойств, таких как высокая твердость, высокое удельное сопротивление и химическая стойкость. Алмазоподобные углеродные пленки ($a\text{-C:H}$) уже широко используются при решении ряда технических задач. Например, они применяются для защиты поверхности окон лазеров, окисляющихся под действием атмосферы [4], в качестве покрытия тонкопленочных сред для магнитной записи информации [5], при изготовлении абразивного инструмента [6].

Алмазоподобные углеродные пленки $a\text{-C:H}$ могут быть получены всеми известными методами ионно-плазменного осаждения. Наиболее распространенными из них являются метод разложения углеводородов в ВЧ плазме тлеющего разряда [7-9] и метод магнетронного распыления графитовой мишени в водородоаргоновой смеси газов [10,11]. Однако свойства $a\text{-C:H}$ сильно зависят от технологических условий получения последних. Связано это со спецификой углерода, который может образовывать прочные химические связи различного характера, отличающиеся типом sp -гибридизации. Исследования структуры пленок $a\text{-C:H}$ показали, что пленки имеют гетерофазную структуру, состоящую из четырех компонент: алмаза (tetra-carbon , для которого характерна sp^3 -гибридизация углеродных связей), графита (trigon-carbon , для которого характерна sp^2 -гибридизация углеродных связей), полимера ($\text{CH}_{n=1,2,3}$, имеющего sp^3 - и sp^2 -гибридизацию связей) и пор [12]. Соотношение этих фаз в основном зависит от условий осаждения пленок и определяет их макроскопические свойства.

В зависимости от условий осаждения могут быть получены так называемые полимероподобные пленки $a\text{-C:H}$. Они механически мягкие, содержат много водорода ($N_H > 35\%$), имеют оптическую ширину запрещенной зоны $E_g = 2-3\text{ эВ}$ и коэффициент преломления $n = 1.7$. Алмазоподобные пленки механически твердые, плотные (плотность $\rho = 1.8-2.6\text{ г/см}^3$), содержат водорода $< 20\%$, имеют $E_g = 1.0-1.5\text{ эВ}$ и $n = 1.9-2.2$. Графитоподобные пленки $a\text{-C:H}$ механически мягкие, плотность пленок $\rho = 1.4\text{ г/см}^3$, содержат водорода $\leq 10\%$, имеют $E_g = 0.8-1.0\text{ эВ}$ и $n = 1.8$ [13,14].

При использовании углеродных пленок в качестве защитных износостойких покрытий электрофотографических цилиндров определяющими макроскопическими свойствами являются их твердость, оптическая прозрачность в области максимума чувствительности аморфного селена (или его сплавов) и высокое электросопротивление, обеспечивающее сохранение разрешающей способности ЭФНИ, с одной стороны, и не мешающее фотозарядке фотослоя, с другой стороны. Реализация вышеперечисленных свойств представляет собой научную и техническую задачу, так как по сути дела многослойную структуру, состоящую из защитного и фотопроводящего слоев, нанесенных на алюминиевый цилиндр, $a\text{-C:H}/a\text{-Se}$ (As_2Se_3)/Al, можно рассматривать как новый вид ЭФНИ.

В представленной работе получены, изучены и тестированы электрофотографические носители информации, состоящие из металлической подложки (Al), фоточувствительного полупроводникового слоя

(*a*-Se, *a*-As₂Se₃) и верхнего защитного слоя алмазоподобного углерода. Полупроводниковый слой (*a*-Se, *a*-As₂Se₃) наносился на фрагменты алюминиевого цилиндра (площадью 25 см²) способом термического испарения [3]. Слои *a*-C:H были изготовлены в различных технологических условиях:

- а) пленки типа 1 получены методом реактивного магнетронного распыления графитовой мишени в аргоноводородной атмосфере;
- б) пленки типа 2 напылялись методом реактивного магнетронного распыления графитовой мишени в сочетании со стимулированным плазмой газофазным осаждением из смеси газов (10%CH₄ + 90%Ar);
- в) пленки типа 3 получены методом ВЧ-разложения смеси газов (10%CH₄ + 90%Ar), при этом подложка размещалась как на заземленном электроде — катоде (тип 3а), так и на аноде — электроде, на который подводится ВЧ мощность (тип 3б).

Основное внимание в работе уделено исследованию состава, структуры и электрофизических свойств слоев *a*-C:H, полученных вышеперечисленными методами, с точки зрения соответствия свойствам, предъявляемым к защитным покрытиям.

2. Методики эксперимента

Исследуемые пленки *a*-C:H осаждались тремя вышеуказанными методами при температурах подложки $T_s < 60^\circ\text{C}$. В силу высокоомности пленок *a*-C:H и малой толщины покрытия ($d = 0.1\text{--}0.5\text{ мкм}$) определение содержания таких легких элементов как водород и кислород традиционными методами — оже-спектроскопией и вторичной масс-спектрометрией — является затруднительным. В представленной работе состав пленок *a*-C:H, т.е. содержание водорода и кислорода определялось с помощью ядерно-физических методов — протонов отдачи и резонансной ядерной реакции. Схематическое изображение метода протонов отдачи и типичные спектры протонов отдачи (водорода) для двух пленок *a*-C:H различной толщины приведены на рис. 1. Подробно этот метод описан [15]. Здесь следует отметить, что для наблюдения спектра протонов отдачи в данной работе мы использовали тяжелые ионы $^{12}\text{C}^{3+}$ с энергией $E = 11\text{ МэВ}$. Применение тяжелых

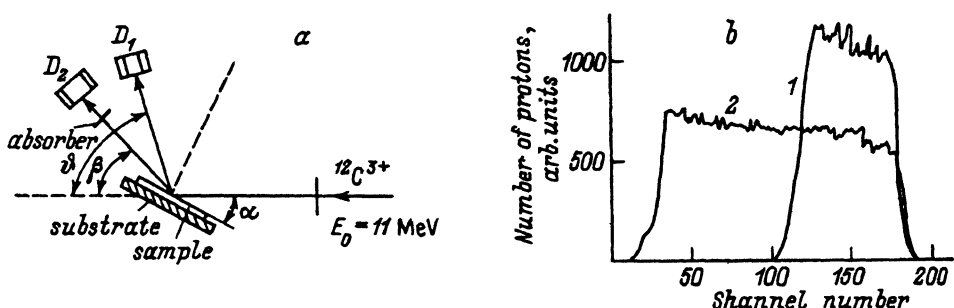


Рис. 1. а — схематическое изображение метода протонов отдачи. б — типичные спектры протонов отдачи (водорода) для двух пленок *a*-C:H различной толщины и плотности: 1 — $d = 0.6\text{ мкм}$, $\rho = 1.85\text{ г/см}^3$; 2 — $d = 0.9\text{ мкм}$, $\rho = 2.2\text{ г/см}^3$. $\alpha = \beta = 15^\circ$, $\vartheta = 30^\circ$.

ионов $^{12}\text{C}^{+3}$ (по сравнению с легкими ионами $^4\text{He}^{+2}$ [16]) позволило увеличить разрешающую способность метода. Содержание кислорода в пленках $a\text{-C:H}$ определялось методом резонансной ядерной реакции $^{16}\text{O}(\alpha, \alpha)^{16}\text{O}$. Начальная энергия α -частиц составляла $E = 3.05$ МэВ. Увеличивая энергию α -частиц до 3.5 МэВ, мы наблюдали резонансную ядерную реакцию $^{16}\text{O}(\alpha, \alpha)^{16}\text{O}$ на поверхности, в середине пленки и на глубине $\sim 5000 \text{ \AA}$ (рис. 2, *a*). На рис. 2 представлены типичные спектры α -частиц рассеянных на атомах кислорода, углерода и кремния (*c*-Si-подложка). При оценке концентрации кислорода использовался калибровочный образец SiO_2 с известным содержанием кислорода (рис. 2, *b*).

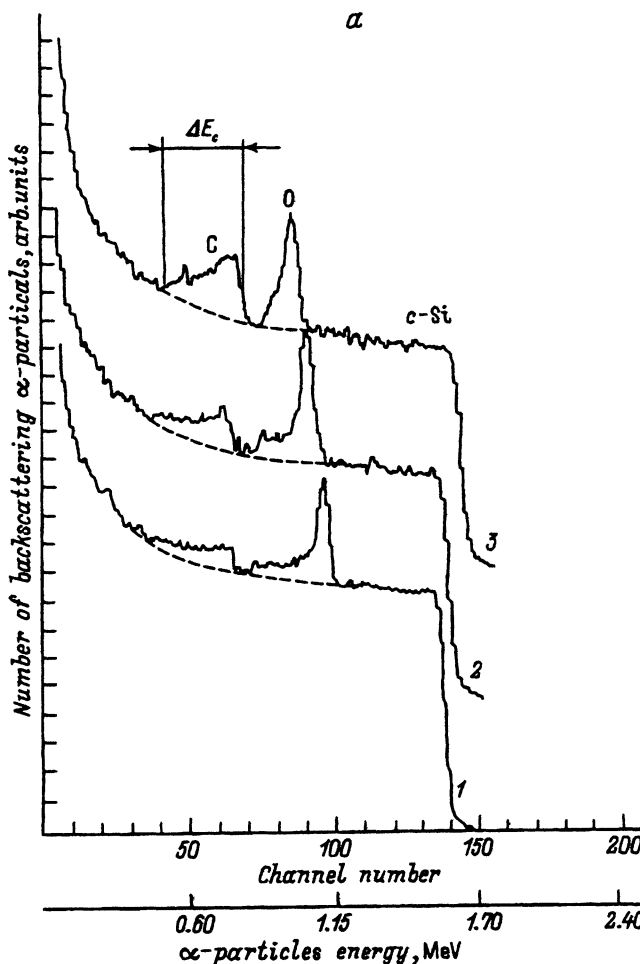


Рис. 2. *a* — типичные спектры α -частиц, рассеянных на атомах кремния (подложка), кислорода и углерода. Резонансная ядерная реакция, наблюдаемая на атомах кислорода на поверхности (1), в середине пленки (2) и на глубине $\sim 5000 \text{ \AA}$ (3). *b* — концентрация кислорода в пленке SiO_2 , осажденной на подложку из кристаллического Si (1), и пленках $a\text{-C:H}$: 2 — тип 1, 3 — тип 2 и 3а, 4 — тип 3б.

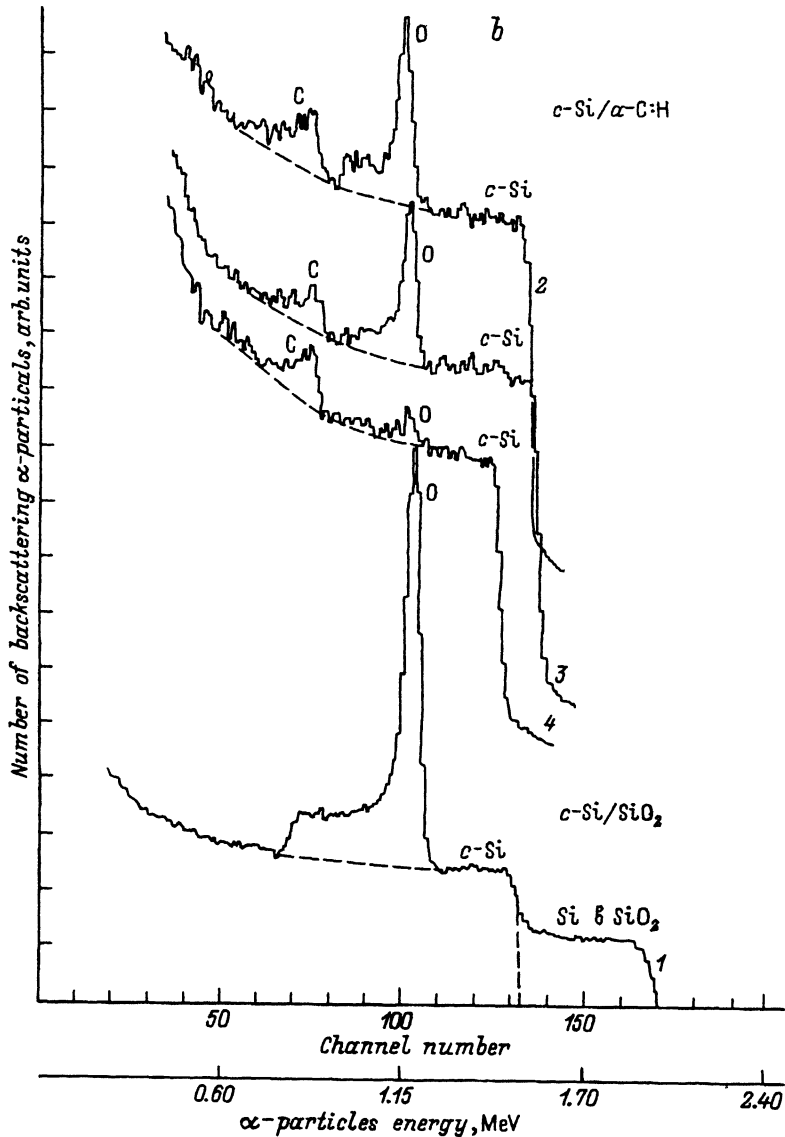


Рис. 2 (продолжение).

Из спектра α -частиц, рассеянных на атомах углерода, мы имели возможность оценить плотность пленок a -C:H. Плотность пленок ρ определялась из соотношения $\Delta E = \rho d \{\bar{S}\}$, где ΔE — разница в значениях энергии для α -частиц, рассеянных на атомах углерода, находящихся на поверхности пленки, и атомах углерода, находящихся на глубине, равной толщине пленки d ; $\{\bar{S}\}$ — среднее значение тормозных потерь α -частиц в углероде [17].

Структура пленок a -C:H исследовалась с помощью ИК и рамановской спектроскопии. ИК спектры измерялись в диапазоне

400–5000 см⁻¹ на двулучевом спектрометре UR-20. Рамановские спектры наблюдались на двойном монохроматоре SPEX-1403, используя линию аргонового лазера 488 нм. Ширина спектральной щели составляла 7 см⁻¹. Полосы поглощения в ИК спектрах или спектры рамановского рассеяния, представляющие собой суперпозицию нескольких полос или спектров, разлагались с помощью компьютерных программ на соответствующие полосы и спектры гауссовой формы.

Измерение электропроводности пленок *a*-C:H, нанесенных на силиконовые подложки, проводилось при комнатной температуре.

Для характеристики микротвердости пленок *a*-C:H, осажденных на различные по твердости и по толщине подложки: кристаллический кремний (*c*-Si), стекло и толстый слой *a*-Se (~ 20 мкм), использовался метод относительного измерения твердости [2]. Суть метода состоит в определении минимальной нагрузки, при которой наблюдается появление царапины в исследуемой пленке. Сравнивая значения минимальных нагрузок, делается вывод о соотношении твердостей различных пленок.

Измерения основных электрофотографических параметров — напряжение зарядки U_0 , скорость спада потенциала зарядки dU/dt при освещении (засветка белым светом через нейтральный фильтр, $E = 0.4$ люкс) — проводились на тестовых электрофотографических структурах площадью 25 см² как с защитным покрытием (*a*-C:H/*a*-Se (*a*-As₂Se₃)/Al), так и без него (*a*-Se(*a*-As₂Se₃)/Al).

3. Экспериментальные результаты

Концентрация водорода (N_H), содержание кислорода (N_O), плотность пленок (ρ), величина минимальной нагрузки, при которой наблюдается разрушение поверхности (H) и удельное сопротивление (ρ_{RT}) для образцов, полученных различными способами, приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что пленки всех типов, по таким параметрам как плотность и удельное сопротивление, могут быть отнесены к твердым углеродным пленкам и служить защитным покрытием. Однако они отличаются величиной минимальной нагрузки, при которой происходит разрушение: наибольшее значение H соответствует пленкам типа 3б. Выше уже сообщалось о том, что макроскопические свойства пленок *a*-C:H зависят от структуры.

Исследования структуры пленок *a*-C:H позволили нам установить конфигурацию связи углерода с водородом (CH_{*n*}, где $n = 1-3$), определить вид гибридизации атомов углерода, связанных с водородом и сделать заключение о степени упорядоченности углеродных связей.

Таблица 1.

Тип пленки	N_H , ат%	N_O , см ⁻³	ρ , г/см ³	H , г	ρ_{RT} , Ом·см
1	11	$9.2 \cdot 10^{20}$	1.60	90	10^{12}
2	13	$1.0 \cdot 10^{21}$	1.70	95	10^{13}
3а	18	$1.0 \cdot 10^{21}$	1.85	105	10^{13}
3б	9	$1.7 \cdot 10^{20}$	2.20	200	10^{12}

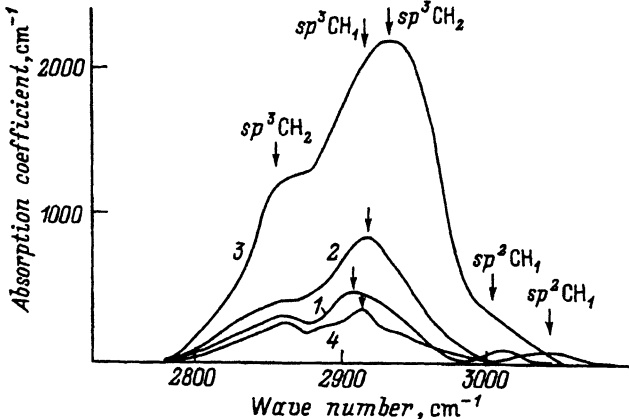


Рис. 3. ИК спектры пленок $a\text{-C:H}$: 1 — тип 1, 2 — тип 2, 3 — тип 3а, 4 — тип 3б.

Таблица 2.

Тип пленки	sp^3CH_2 (sym)	sp^3CH_2 (asym)	sp^3CH_1	sp^2CH_1 (olef)	sp^2CH_1 (arom)	—
1	2850	—	2915	3000	—	—
2	2850	2950	—	3000	—	—
3а	2850	2925	—	3000	—	—
3б	2850	2920	—	3000	3045	3125

На рис. 3 и табл. 2 приведены нормализованные ИК спектры поглощения, соответствующие моде растяжения С-Н-связи и наблюдаемые полосы поглощения для всех типов пленок $a\text{-C:H}$. Следует отметить, что полоса поглощения в области $2810\text{--}2960\text{ см}^{-1}$ в общем случае представляет собой суперпозицию пяти перекрывающихся полос поглощения, которые после разложения приписываются различным конфигурациям sp^3CH_n ($n = 1 \div 3$), а полосы поглощения около $3000\text{--}3050\text{ см}^{-1}$ — конфигурациям sp^2CH_n ($n = 1 \div 2$) [18]. Отметим, что для образцов типа 3б наблюдается дополнительная полоса в области 3125 см^{-1} , происхождение которой пока не установлено.

Соотношения между различными видами гибридизации CH_n -связей и конфигурациями sp^3CH_n ($n = 1\text{--}3$) приведены в табл. 3. В дополнение к вышеприведенным модам растяжения С-Н-связей мы на-

Таблица 3.

Тип пленки	sp^3/sp^2	sp^3CH_1/sp^3CH_2
1	0.97/0.03	0.67/0.33
2	0.93/0.07	0/1
3а	0.91/0.09	0/1
3б	0.93/0.07	0/1

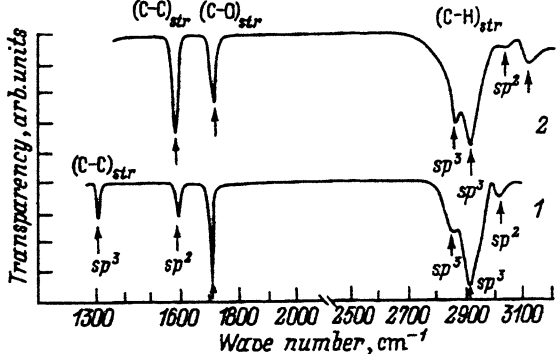


Рис. 4. Спектры пропускания пленок $a\text{-C:H}$: 1 — тип 1, 2 — тип 3б.

блюдали (рис. 4) моды растяжения C-C-связей в спектральной области 1000–1650 cm^{-1} , а также линию 1710 cm^{-1} , которая приписывается C-O-связи [19]. Приведенные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что во всех типах пленок $a\text{-C:H}$ основным видом гибридизации углеродных атомов, с которыми связан водород, является sp^3 . Доля sp^2 составляет 3–9%. Относительно конфигурации sp^3 -связей следует отметить, что для пленок типа 1 (напомним, что они получены магнетронным распылением) основной является $sp^3\text{CH}_1$, а в пленках типа 2, 3а и 3б (осаждение с использованием смеси газов $\text{CH}_4 + \text{Ar}$) основной конфигурацией является $sp^3\text{CH}_2$.

Известно, что в конфигурации $sp^3\text{CH}_1$ водород способен только насыщать оборванные связи углерода, в то время как конфигурации $sp^3\text{CH}_2$ или $sp^2\text{CH}_1$ характерны для полимерных фаз [12]. Принимая во внимание вышесказанное, можно сделать заключение о возрастании полимерной фазы в образцах, при осаждении которых использовалась смесь газов (10% $\text{CH}_4 + 90\% \text{Ar}$).

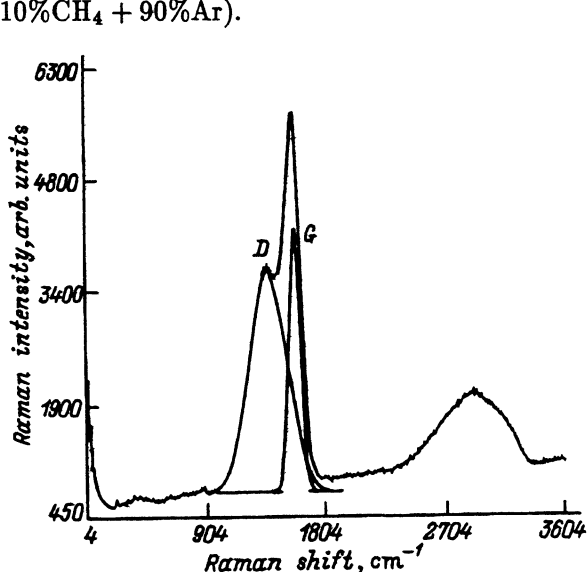


Рис. 5. Типичный спектр рамановского рассеяния в области от 4 до 3600 cm^{-1} .

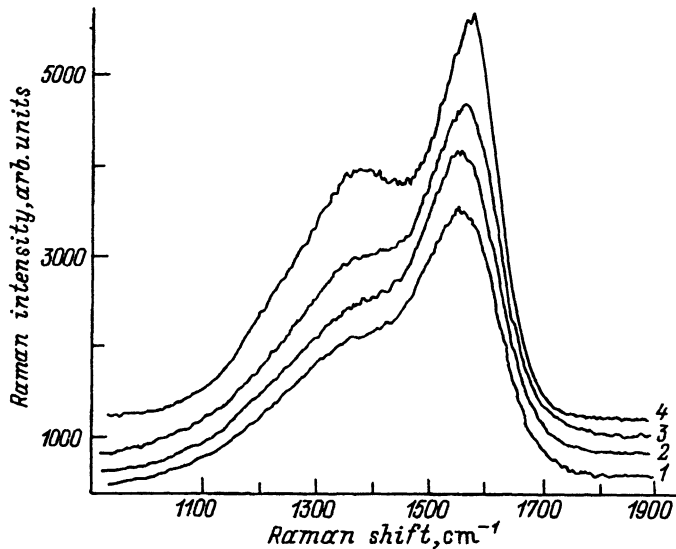


Рис. 6. Спектры рамановского рассеяния для пленок a -C:H: 1 — тип 1, 2 — тип 2, 3 — тип 3а, 4 — тип 3б.

Рамановские спектры очень чувствительны к изменениям, связанным с изменениями трансляционной симметрии исследуемых материалов, поэтому их широко используют при исследовании разупорядоченных и кристаллических образований в тонких углеродных пленках [20–23]. При этом в большинстве работ анализируются спектры комбинационного рассеяния света в области частот 1000 – 1800 cm^{-1} , изучаются положение в спектре так называемой G -моды (~ 1530 – 1580 cm^{-1}), ее полуширины и отношение интенсивностей D - (~ 1350 cm^{-1}) и G -моды. Из анализа спектров делаются выводы о близости структуры углеродородных пленок к структуре алмаза либо структуре, образованной графитоподобными кластерами размером 10 – 50 \AA , либо к структуре полимеров [20–22]. На рис. 5 приведен типичный рамановский спектр в области от 4 до 3600 cm^{-1} для одного из образцов a -C:H. В области меньше чем 1000 cm^{-1} ясной интерпретации наблюдаемых пиков 430 , 740 и 880 cm^{-1} пока еще нет. Мы проанализировали рамановские спектры в области 1000 – 1800 cm^{-1} (рис. 6), где наблюдаются два характерных пика — D (~ 1350 cm^{-1}) и G (~ 1580 cm^{-1}). Положение D - и G -пиков (ω_D , ω_G), значение их полуширины $\Delta\omega_G$ и $\Delta\omega_D$, а также отношение интегральных интенсивностей I_D/I_G приведены в табл. 4. Полу-

Таблица 4.

Тип пленки	ω_D , cm^{-1}	$\Delta\omega_D$, cm^{-1}	ω_G , cm^{-1}	$\Delta\omega_G$, cm^{-1}	I_D/I_G
1	1396	352	1568	140	0.73
2	1420	368	1564	136	0.72
3а	1400	364	1568	136	0.73
3б	1388	344	1592	100	0.87

енные нами экспериментальные значения вышеуказанных параметров рамановских спектров находятся в хорошем согласии с результатами, опубликованными в работах [20,21]. Из табл. 4 видно, что наблюдается сдвиг G - и D -линий в область более высоких частот, уменьшение полуширины D - и G -пиков и увеличение отношения интегральных интенсивностей D - и G -моды. Наблюдаемые изменения параметров рамановских спектров свидетельствуют о наличии микрокристаллитов и доминировании трехкоординированного углерода над четырехкоординированным. Если вычислить размер микрокристаллитов по экспериментальной зависимости, приведенной в [23], то максимальный размер $\sim 20 \text{ \AA}$ наблюдается в образцах типа 36.

Таким образом, на основании наблюдаемых экспериментальных результатов можно сделать вывод о структуре исследуемых пленок $a\text{-C:H}$: трехкоординированные атомы углерода группируются в микрокристаллические кластеры, которые увеличиваются по размеру и количеству в зависимости от типа пленки $a\text{-C:H}$. Полимерная фаза в таком случае выступает как соединительная сетка. Максимальный размер и количество микрокристаллитов наблюдается в пленках $a\text{-C:H}$ типа 36. Для этих пленок характерны большие значения плотности и микротвердости. Такие пленки $a\text{-C:H}$ наносились в качестве защитного покрытия на ЭФНИ ($a\text{-Se/Al}$, $a\text{-As}_2\text{Se}_3/\text{Al}$).

Исследовались основные электрофотографические параметры образцов с защитным покрытием и без защитного покрытия. Испытания образцов проводились на установке, имитирующей работу электрофотографического аппарата [3]. Напряжение на выравнивающей сетке было 600 В. Напряжение нити короны составляло 6000 В. Освещение производилось белым светом через нейтральный светофильтр. Основные экспериментальные результаты приведены в табл. 5. Наряду с электрофотографическими параметрами — потенциалом зарядки (U_0) и скоростью спада потенциала при освещении dU/dt — в табл. 5 приведены данные о величине минимальной нагрузки (H), при которой наблюдается разрушение поверхности структуры.

Анализируя данные табл. 5, можно сказать, что электрофотографические параметры ЭФНИ в результате нанесения защитной пленки $a\text{-C:H}$ не ухудшаются. Это свидетельствует о том, что процесс напыления защитной пленки $a\text{-C:H}$ был максимально «мягким». Под этим

Таблица 5.

Номер образца	Состав ЭФНИ	U_0 , В	$\frac{dU}{dt}$, В/с	H , г
720	$a\text{-Se/Al}$	600	2	105
725	$a\text{-C:H}/a\text{-Se/Al}$	600	2	110
726	$a\text{-C:H}/a\text{-Se/Al}$	600	3	115
730	$a\text{-C:H}/a\text{-Se/Al}$	600	2	110
732	$a\text{-C:H}/a\text{-Se/Al}$	600	1	130
735	$a\text{-C:H}/a\text{-Se/Al}$	600	2	110
740	$a\text{-C:H}/a\text{-Se/Al}$	600	3	150
602	$a\text{-As}_2\text{Se}_3/\text{Al}$	500	10	150
605	$a\text{-C:H}/a\text{-As}_2\text{Se}_3/\text{Al}$	480	12	155

повышается режим, при котором реализуется по возможности не сильное взаимодействие подлетающих частиц, из которых растет защитная пленка, и атомов подложки (a -Se, a -As₂Se₃). Такой режим осаждения не вызывает кристаллизации ЭФНИ. Прочностные свойства структуры и срок хранения ЭФНИ на воздухе после нанесения a -C:H возрастают. Однако следует отметить, что нам не удалось достичь максимальных значений H , которые мы получали при оптимизации режимов осаждения a -C:H (табл. 1). По-видимому, это связано с тем, что структура a -C:H зависит от подложки, на которую осаждается пленка. В работе [24] сообщается о том, что доля sp^3 гибридного углерода уменьшается на 10% при переходе от подложки из кристаллического Si к подложке из кварца. Влияние подложки на структуру a -C:H представляет собой предмет для дальнейших исследований.

В заключении авторы выражают благодарность В.М. Котову за интерес к работе, Т.К. Звонаревой за помощь в получении пленок и С.С. Лантратовой за измерение микротвердости.

Работа частично поддержана US Department of Defense.

Список литературы

- [1] В.Х. Кудоярова, Р.А. Кавалюскас, О.И. Коньков, Е.И. Теруков, И.Н. Трапезникова, И.В. Шведков. *Тез. докл. междунар. конф. «Электрография-91»* (М., 1991) с. 46.
- [2] Патент ФРГ DE 3821665 AI (1989).
- [3] В.М. Котов, Д.А. Мкртчян, В.Л. Аверьянов, А.В. Жарких, В.А. Чернышев. *Тез. докл. междунар. конф. «Электрография-91»* (М., 1991) с. 40.
- [4] B. Dischler, A. Bubenzler, P. Koild. *Appl. Phys. Lett.*, **42**, 636 (1983).
- [5] H. Tsai, D.B. Body. *J. Vac. Sci. Technol. A*, **5**, 3287 (1987).
- [6] И.И. Аксенов, В.Г. Пададяка, В.Е. Стрельницкий, В.Т. Толлок, В.П. Зубарь, М.Ф. Семко. *Сверхтвердые материалы*, **1**, 25 (1979).
- [7] D.A. Anderson. *Phil. Mag.*, **35**, 17 (1977).
- [8] S. Berg, L.P. Anderson. *Thin Sol. Films*, **58**, 117 (1979).
- [9] K. Enke, H. Dimigen, H. Hubsch. *Appl. Phys. Lett.*, **36**, 291 (1980).
- [10] D.R. McKenzie, R.C. McPhedran, N. Savvides, D.J.H. Cockaune. *Thin Sol. Films*, **108**, 247 (1983).
- [11] Ch. Wyon, R. Gillet, L. Lombard. *Thin Sol. Films*, **122**, 203 (1984).
- [12] F.W. Smith. *J. Appl. Phys.*, **55**, 764 (1984).
- [13] J. Wagner, P. Lautenschlager. *J. Appl. Phys.*, **59**, 2044 (1986).
- [14] J.W. Zou, K. Reichelt, K. Schmidt, B. Dischler. *J. Appl. Phys.*, **65**, 3914 (1989).
- [15] G.M. Gusinskii, I.V. Kudryavtsev, V.Kh. Kudoyarova, V.O. Naidenov, L.A. Rassadin. *Semicond. Sci. Technol.*, **7**, 881 (1992).
- [16] K. Schmidt, K. Reichelt, B. Strizker, J. Zou. *Fresenius Z. Anal. Chem.*, **333**, 326 (1989).
- [17] G. Foti, J.W. Mayer, E. Rimini. In: *Ion Beam Handbook for Material Analysis*, ed. by J.W. Mayer, E. Rimini (Acad. Press. Inc., N.Y., 1977) P. 1, P. 21.
- [18] B. Dischler, A. Bubenzler, P. Koild. *Sol. St. Comm.*, **48**, 105 (1983).
- [19] S. Craig, G.L. Harding. *Thin Sol. Films*, **97**, 345 (1982).
- [20] R.O. Dillon, J.A. Woollam. *Phys. Rev. B*, **29**, 3482 (1984).
- [21] H. Shimizu, S. Nakao, H. Kusakabe, M. Noda. *J. Non-Cryst. Sol.*, **114**, 196 (1989).
- [22] J. Wagner, M. Ramsteiner, Ch. Wild, P. Koild. *Phys. Rev. B*, **40**, 1817 (1989).
- [23] F. Tuinstra, J.L. Koenig. *J. Chem. Phys.*, **53**, 1126 (1970).
- [24] J.S. Ma, H. Kawarada, T. Yonehara, J. Suzuki, Y. Yokota, A. Hiraki. *J. Cryst. Growth*, **99**, 1206 (1990).

Редактор В.В. Чалдышев

**A study of electrophysical properties of a-C:H films which
are likely to be applied for making protective coatings of
electrophotographic information carriers**

V.Kh. Kudoyarova, V.L. Averyanov, A.V. Chernyshev, M.B. Tsolov

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St.Petersburg,
Russia
