

УДК 621.38

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ТОНКИХ УГЛЕРОДНЫХ $\alpha$ -C:H ПЛЕНОК

А.С. ВОСКАНЯН, Ж.Р. ПАНОСЯН

Государственный инженерный университет Армении

(Поступила в редакцию 3 февраля 2004 г.)

Представлены результаты исследования электрофизических и механических свойств  $\alpha$ -C:H пленок. Показаны пути оптимизации параметров технологического процесса осаждения  $\alpha$ -C:H пленок ионноплазменным методом. Полученные результаты обсуждаются в плане использования таких пленок в качестве диэлектрических слоев для микроэлектронных приборов.

### 1. Введение

Алмазоподобные пленки вызывают повышенный интерес, так как целый комплекс уникальных физико-химических свойств делает эти пленки перспективными в качестве многофункциональных покрытий. В зависимости от методов получения и конкретных условий осаждения пленок, соотношение относительного фазового содержания атомов углерода (в координациях  $Sp^3$ ,  $Sp^2$  и  $Sp$ ) меняется в широких пределах, что в итоге определяет спектр физико-химических свойств получаемых покрытий.

Существуют различные методы осаждения алмазоподобных углеродных пленок (АУП) (магнетронное и дуговое распыление графита, ионнолучевое и лазерное осаждение, ионноплазменное осаждение и т.д.). Во всех случаях энергия ионов, бомбардирующих пленку, должна быть достаточно низкой, чтобы избежать возникновения каскадов атомных смещений и других дефектов. Целью данной работы было установление оптимальных технологических режимов формирования углеродных пленок ( $\alpha$ -C:H) с алмазоподобными свойствами в режиме ионно-стимулированного осаждения [1].

### 2. Методика и техника эксперимента

АУП были получены плазменным осаждением непосредственно из пучков ионов, образованных при диссоциации паров циклогексана или толуола, на модернизированной вакуумной установке, оснащенной источником ионов постоянного тока (рабочий ток  $I_p = 20 \div 80$  мА при ускоряющих напряжениях  $U_{yc} = 1,5 \div 4$  кВ). Источник позволяет получать расходящийся ионный пучок диаметром на выходе 120 мм, с плотностью ионного тока  $J < 0,8$

мА/см<sup>2</sup>, в области кинетических энергий  $E=20-400$  эВ (см. табл.1). В качестве рабочего газа использовались  $Ar$ ,  $N_2$ ,  $C_6H_{12}$  или  $C_7H_8$ . Свойства покрытий в значительной степени зависят от предварительного вакуума в системе ( $P_0$ ), скорости поступления газовой смеси в систему и процентного содержания паров  $C_6H_{12}$ ,  $C_7H_8$  в смеси газов. В наших экспериментах рабочее давление изменялось в пределах  $P_p=10^{-1}-10^{-3}$  Па. Для обеспечения равномерности покрытия по толщине подложка вращалась в зоне плазменного потока с определенной скоростью. Толщина покрытий в зависимости от режима осаждения варьировалась в пределах  $d=0,02-0,25$  мкм и измерялась интерференционным методом на микроскопе МИИ-4. В качестве подложек использовались пластинки монокристаллического кремния, сапфира и плавленного кварца.

Наиболее информативный метод исследования АУП – оптическая спектроскопия, которая позволяет получать информацию о микроструктуре и качестве пленок  $\alpha$ -С:Н. С этой целью были исследованы спектры пропускания и отражения пленок в области спектра 360-1200 нм. Результаты измерений показали, что пленки прозрачны в данном интервале спектра, пропускание составляет  $T \geq 93\%$  при толщине пленки  $d=0,21$  мкм, а отражение  $R \leq 5\%$ . Были проведены измерения плотности методом взвешивания и поверхностного сопротивления ( $\rho_s$ ) – четырехзондовым методом. Результаты измерений и параметры технологического процесса приведены в таблице 1.

Таблица 1.

№	$U_{yc}$ , кВ	$I_p$ , мА	$J$ , мА/см <sup>2</sup>	$U_{cm}$ , В	$P$ , Па	$C_7H_8$ , %	$\langle E_k \rangle$ , эВ	$d$ , мкм	HV, кгс/мм <sup>2</sup>	$\rho_s$ , ом/см
I	3,5	20	0,75	-300	$2 \cdot 10^{-2}$	5	150	0,21	2800	300
II	2,4	80	0,58	-200	$8 \cdot 10^{-2}$	10	80	0,16	2450	550
III	1,8	50	0,45	-50	$3 \cdot 10^{-1}$	20	30	0,09	2180	800

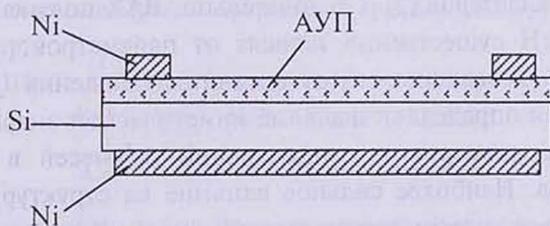


Рис.1. МДП структура с АУП.

На поверхности кремния КЭФ (100) были изготовлены МДП структуры (рис.1), где в качестве диэлектрического слоя использовались АУП с толщиной 0,2 мкм. Контактные слои со структурой  $Cr+Ni$  толщиной 0,3 мкм наносились электронно-лучевым методом, при вакууме  $10^{-4}$  Па. Измерялись

темновые вольт-амперные характеристики (ВАХ) МДП структур с АУП, полученных в различных технологических режимах.

На рис.2 приведены темновые ВАХ для трех образцов с АУП, полученных при различных технологических режимах (см. табл.1).

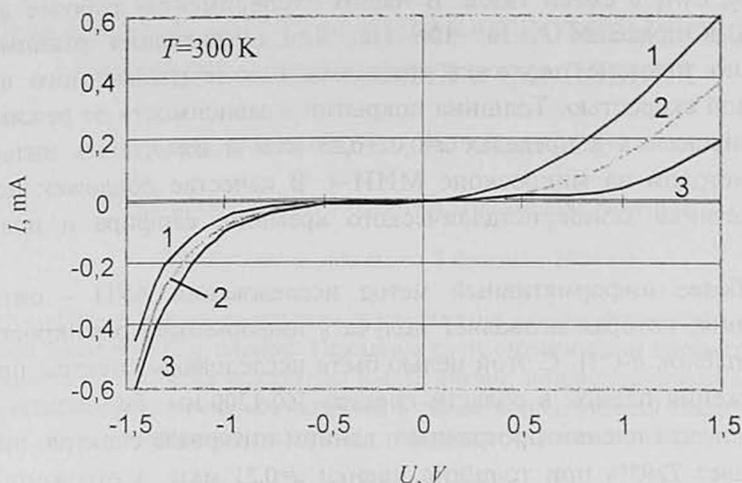


Рис.2. Темновые ВАХ МДП структур с АУП, полученных при различных концентрациях паров  $C_7H_8$ : 1 — 20%, 2 — 10%, 3 — 5%.

### 3. Обсуждение результатов

Рентгеноструктурные исследования АУП показали, что пленки аморфные [1]. Существуют различные теории, объясняющие особенности образования той или иной структуры АУП с соответствующими электрофизическими свойствами. Из этих теорий наиболее известна теория кластерного механизма образования структуры, которая объясняет некоторые существенные особенности АУП. В соответствии с этой теорией механизм электропроводности и электронные свойства определяются  $\pi$ -электронами упорядоченной структуры кластеров [2]. Следовательно, ВАХ полученных в эксперименте пленок  $\alpha$ -C:H существенно зависят от параметров технологического режима осаждения. В зависимости от величины смещения  $U_{см}$  на подложке (см. табл.1), которая определяет значение кинетической энергии ионов, происходит изменение размеров и концентраций примесей в упорядоченной структуре кластеров. Наиболее сильное влияние на структуру и характеристики  $\alpha$ -C:H пленок оказывает состав газовой смеси. В наших экспериментах концентрация паров  $C_7H_8$  в газовой смеси изменялась в пределах 5÷20 %, при этом плотности пленок изменялись от 1,7 до 2,35 г/см<sup>3</sup>, а микротвердость, измеренная видоизмененным методом Виккерса имела значения  $HV=2100\div 2800$  кгс/мм<sup>2</sup> [3]. Измерения темновых ВАХ всех исследованных образцов имели типичный характер для МДП структур с тонким диэлектриком. Обратная ветвь ВАХ содержит излом при  $U=-1В$ , а обратный ток (также и

проводимость  $\sigma$ ) структуры резко возрастает. Наиболее вероятной причиной данного эффекта является резонансно-туннельная инжекция неосновных носителей тока по перпендикулярным друг другу слоям  $\alpha$ -C:H. Ток через структуру резко возрастает в условиях, когда напряжение смещения обеспечивает выравнивание энергетических уровней в квантовых потенциальных ямах. Малую величину  $\sigma$  в интервале  $U=0 \div -1$ В можно объяснить смещением энергетических уровней в квантовых ямах, вызванным электрическим полем зарядов, захваченных ловушками, преимущественно локализованными на границе  $\alpha$ -C:H/Si.

Таким образом, разработаны технологические режимы получения АУП ( $\alpha$ -C:H) ионно-стимулированным плазмохимическим методом. Изучены механические, защитные и электрофизические свойства полученных  $\alpha$ -C:H покрытий. Изготовлены МДП структуры и измерены ВАХ. Исследования показали, что АУП является хорошим диэлектриком с особыми свойствами и может быть использована в микроэлектронике и наноэлектронике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ж.Р.Паносян, С.С.Восканян, Е.В.Енгибарян, А.В.Степанян. Сб. докладов 15-го Международного симпозиума "Тонкие пленки в оптике и электронике", Харьков, Украина, 2003, изд. НИЦ ХФТИ, с.213-216.
2. В.М.Елинсон. Сб. докладов 15-го Международного симпозиума "Тонкие пленки в оптике и электронике", Харьков, Украина, 2003, изд. НИЦ ХФТИ, с.169-184.
3. Ж.Р.Паносян, С.С.Восканян, Е.В.Енгибарян, А.В.Степанян. Материалы четвертой национальной конференции "Полупроводниковая микроэлектроника", Цахкадзор, май 29-31, 2003, Ереван, с.196-199.

ԱՇԽԱԾՆԱՅԻՆ  $\alpha$ -C:H ԲԱՐԱԿ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՍՏԱՅՈՒՄԸ  
ԵՎ ՈՐՈՇ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա.Ս. ՈՍԿԱՆՅԱՆ, Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ

Ներկայացված են  $\alpha$ -C:H քաղանթների էլեկտրաֆիզիկական և մեխանիկական հատկությունների ուսումնասիրության արդյունքները: Դիտարկված են իոնոպլազմային մեթոդով  $\alpha$ -C:H քաղանթների ստացման տեխնոլոգիական պարամետրերի լավարկման ուղիները:

#### PRODUCTION AND INVESTIGATION OF SOME PROPERTIES OF THIN CARBON $\alpha$ -C:H FILMS

A.S. VOSKANYAN, Zh.R. PANOSYAN

The results of investigation of electrophysical and mechanical properties of  $\alpha$ -C:H films are presented. The ways of optimization of technological process parameters of deposition of  $\alpha$ -C:H films by plasma method are shown. The obtained results are discussed for the usage of such films as dielectric layers in microelectronic devices.