

ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.382:621.315

В.Ю. Водзинский

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ПРИМЕСЕЙ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЁНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ PECVD МЕТОДОМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены особенности PECVD технологии получения диэлектрических плёнок SiO₂ при температурах 150-500°C из смесей тетраметоксисилана (ТМОС) и O₂, а также SiH₄ и CO₂. Используя результаты ИК, масс- и оже-спектроскопии получены количественные данные о наличии в плёнках углеродосодержащих примесей в зависимости от температуры, мощности ВЧ разряда и соотношении газов-реагентов.

Установлены различия во влиянии примесей продуктов неполного распада ТМОС и атомарного углерода на диэлектрические характеристики плёнок. Даны рекомендации технологического характера для получения качественных диэлектрических плёнок.

Ключевые слова: диэлектрические плёнки, тетраметоксисилан, моносилан, углеродсодержащие примеси, PECVD, диэлектрические характеристики.

Введение

Плёнки диоксида кремния (SiO₂) занимают сегодня основное место в номенклатуре диэлектрических материалов, применяемых в микро- и наноэлектронике. В первую очередь это БИС на кремнии, МДП транзисторы, межуровневая изоляция, технологические маски на промежуточных стадиях изготовления полупроводниковых приборов и др. В последние годы, в связи с развитием новых направлений микро- и нанотехнологий, плёнки SiO₂ находят применение в устройствах МЭМС [1], как диэлектрическая матрица для нанокластеров кремния для оптоэлектроники [2], в виде пористого SiO₂ с малым значением диэлектрической проницаемости в СВЧ приборах, в многослойных «сэндвич» структурах [3], в солнечных панелях [4] и т.д.

Основными методами получения плёнок SiO₂, помимо традиционного окисления кремния в сухом и влажном кислороде, на сегодня являются термическое испарение электронной пушкой или лазерным излучением, различные магнетронные системы распыления и, наконец, CVD методы, использующие разложение моносилана (SiH₄) или летучих кремнийорганических соединений в окислительной атмосфере под действием температуры или с использованием дополнительной активации (УФ, ВЧ, СВЧ) [5-10]. Последний метод позволяет осаждать плёнки SiO₂ при температурах 100-400°C, что исключительно важно при создании приборов на основе бинарных полупроводниковых материалов, имеющих низкую температуру декомпозиции, при создании приборов с легкоплавкими и летучими компонентами, резкими p-n переходами и целом ряде других случаев. Процесс образования плёнки из элементарных соединений (ЭОС) достаточно сложен, протекает многостадийно и сопровождается выделением продуктов распада, способных внедряться в растущую плёнку, загрязняя её углеродосодержащими примесями. Большинство данных по углеродосодержа-

щим примесям носит либо качественный, либо относительный характер без определения их концентраций и степени их влияния на свойства плёнок [11-14].

Цель работы состояла в получении количественных данных о присутствии в плёнках углеродосодержащих примесей, их связи с условиями осаждения плёнок SiO_2 методом PECVD, а также в сравнении степени и характера влияния примесей атомарного углерода и примесей продуктов неполного распада ЭОС на электрофизические характеристики плёнок.

Методика эксперимента и ростовые характеристики плёнок

Исходными продуктами в первом случае являлась газовая смесь моносилана (SiH_4) и углекислого газа (CO_2), во втором – парогазовая смесь тетраметоксисилана $\text{Si}(\text{OCH}_3)_4$ (ТМОС) с кислородом.

Состав плёнок SiO_2 изучался методами ИК-, масс-, оже-спектроскопии, элементным химическим анализом, структура и морфология поверхности методами электронной микроскопии и АСМ, электронографическим методом, электрические характеристики методами Q-метрии и ВАХ.

В обоих случаях осаждение плёнок осуществлялось плазмохимическим PECVD методом при мощности высокочастотного (13 мГц) ёмкостного разряда 80-400 Вт. ВЧ электрод располагался снаружи горизонтального кварцевого реактора диаметром 100 мм [15, 16]. Температура подложек менялась в диапазоне 150-600°C, суммарное давление в реакторе – от 66 до 266 Па. Газообразные продукты и пары ТМОС подавались в реактор через систему игольчатых кранов и ротаметров. Высокое давление насыщающих паров ТМОС при комнатной температуре позволило не использовать дополнительный его подогрев. Процесс осаждения плёнок происходил при непрерывной вакуумной откачке. Парциальные давления реагентов лежали в пределах для указанных методов: 1) ТМОС (26,6 – 200); O_2 (0 – 133), Па; 2) SiH_4 (6,6–66); CO_2 (26,6–200), Па. Последнее соответствовало изменению отношения $k = p_{\text{SiH}_4}/p_{\text{CO}_2}$ в интервале 1:1 до 1:10.

Для большинства исследований использовались плёнки толщиной от 0,1 до 0,3 мкм на кремниевых подложках “n” и “p” типа с удельным сопротивлением 4,5 – 10 Ом · см, а также GaAs, кварц, ситалл, поликор и кристаллический NaCl.

Зависимости скорости осаждения плёнок SiO_2 от температуры (рис. 1, а) различны для разных методов получения.

Сравнительно сильная зависимость $\vartheta_{\text{ос}}(T^\circ)$ для плёнок, полученных из SiH_4 , указывает на то, что, хотя процесс осаждения и идёт в ВЧ-разряде, существенный вклад вносит и чисто пиролитический процесс. Разложение же ТМОС происходит преимущественно за счет энергии ВЧ-разряда. Такое предположение согласуется с данными о начале взаимодействия моносилана с углекислым газом при температурах 300-400°C [17], разложение же ТМОС – происходит при температурах выше 500-600°C [18].

Хорошо известно, что температурный фактор существенным образом влияет на пористость плёнок, о чём косвенно можно судить по снижению скорости их химического травления с ростом температуры (рис. 1, б). Снижение же скорости химического травления для плёнок, по-

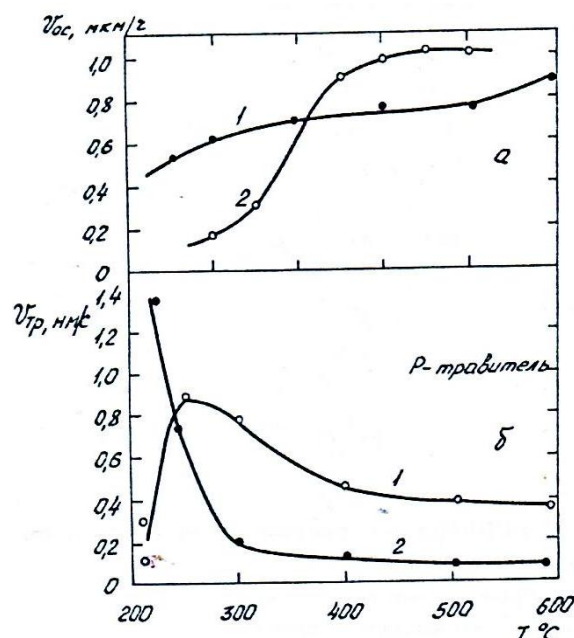


Рис. 1. Скорость осаждения (а) и скорость химического травления (б) плёнок SiO_2 , осаждённых при различной температуре из смеси:

1 - ТМОС- O_2 ; 2 - SiH_4 - CO_2

лученных из ТМОС при низких температурах ($< 250^\circ\text{C}$), объясняется нами присутствием в них примесей полимерных кремнийорганических продуктов, устойчивых к действию кислот. Подобных примесей нет в случае использования SiH_4 и CO_2 и снижение плотности плёнок при низких температурах приводит к резкому (с 0,2 до 1,6-2,0 нм/с) возрастанию скорости химического травления в стандартном Р-травителе.

Увеличение парциального давления кремнийсодержащего соединения в парогазовой фазе (т.е. увеличение коэффициента k) приводило к возрастанию скорости осаждения плёнок SiO_2 для обоих методов их получения, что является достаточно известным фактом. Однако при выборе оптимальных режимов получения стехиометрических плёнок SiO_2 необходимо учитывать, что при больших значениях k ($p_{\text{ТМОС}}/p_{\text{O}_2} \geq 2$; $p_{\text{SiH}_4}/p_{\text{CO}_2} \geq 0,6$), как показали исследования состава плёнок, в плёнках появляются примеси продуктов неполного распада ТМОС (1 метод) или избыточный кремний (2 метод). И в том, и в другом случае это приводило к снижению скорости химического травления плёнок (рис. 2).

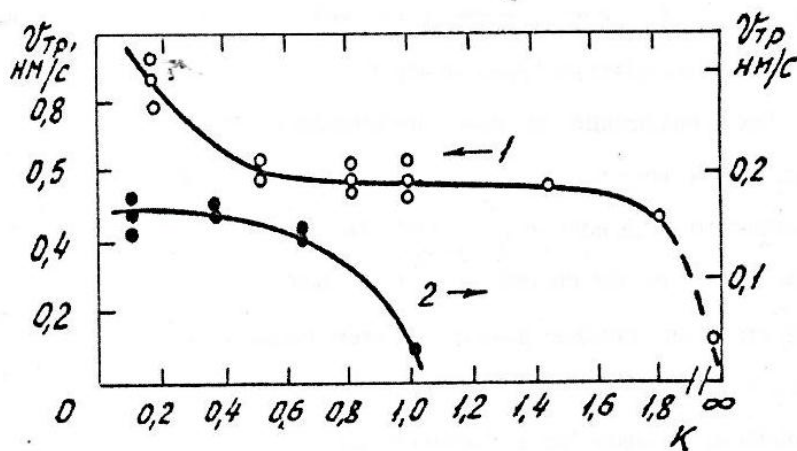


Рис. 2. Зависимость скорости травления плёнок SiO_2 от соотношения парциальных давлений k :
1 — $p_{\text{ТМОС}}/p_{\text{O}_2}$; 2 — $p_{\text{SiH}_4}/p_{\text{CO}_2}$ ($T = 300^\circ\text{C}$, $\Sigma p = 133 \text{ Па}$)

Состав и углеродсодержащие примеси диэлектрических плёнок

Как видно из приведённой схемы (рис. 3), для элементарных соединений (ЭОС) возможные механизмы загрязнения углеродсодержащими примесями можно разделить на загрязнение примесями продуктов неполного распада ЭОС (1 и 4 механизмы) и загрязнение атомарным углеродом (2 и 3 механизмы). Как показано далее, указанные примеси по-разному и в различной степени влияют на электрофизические характеристики осаждённых плёнок.

Для плёнок SiO_2 , полученных плазмопиролитическим методом из ТМОС и O_2 , вид спектров ИК поглощения мало зависел от условий осаждения плёнок в достаточно широком интервале температур осаждения ($150\text{--}600^\circ\text{C}$) и мощности ВЧ разряда ($100\text{--}400 \text{ Вт}$). Наличие полос поглощения с максимумами на частотах 1050 , 800 и 440 см^{-1} характерно для плавленого кварца. Смещение основного максимума поглощения колебаний связи Si-O в сторону более длинных волн ($\Delta\nu \approx 40 \text{ см}^{-1}$) закономерно для плёнок, осаждённых низкотемпературными методами и объясняется несколько меньшей плотностью, а, следовательно, и большими средними межатомными расстояниями, чем в плавленом кварце. В данных плёнках не было зафиксировано присутствие OH -групп и продуктов неполного разложения ТМОС.

Однако плёнки SiO_2 , полученные в условиях, далёких от оптимальных, т.е. при низких температурах подложки (50°C) и низкой мощности ВЧ разряда (80 Вт), содержали примеси OH -групп и продуктов разложения ТМОС. Помимо максимума поглощения двуоксида кремния, в ИК спектрах наблюдалась широкая полоса поглощения в области $3750\text{--}3000 \text{ см}^{-1}$,

относящаяся к валентным колебаниям ОН-группы и небольшой максимум $\delta_{OH} = 1630 \text{ см}^{-1}$ деформационных колебаний молекул воды.

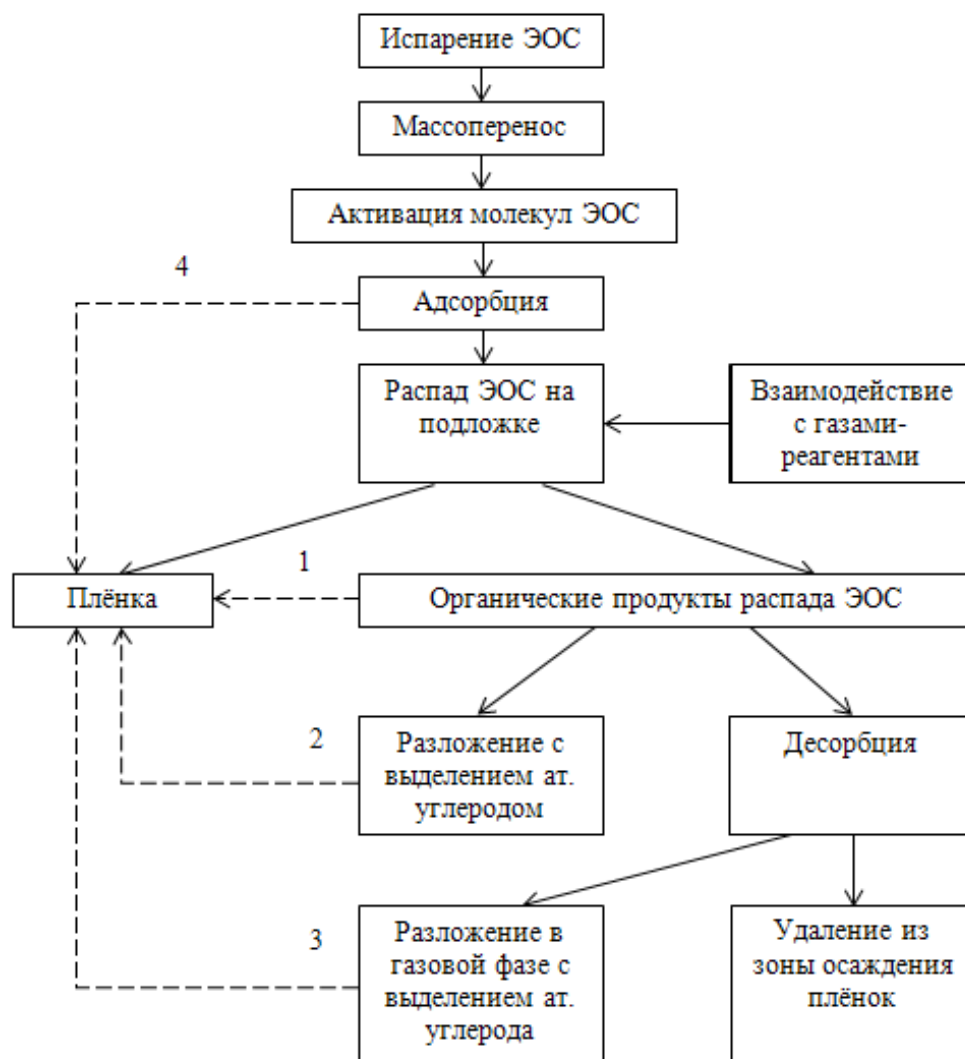


Рис. 3. Схема образования плѐнки при гетерогенном разложении ЭОС и процессов, приводящих к загрязнению её углеродсодержащими примесями:

1 – захват органических продуктов распада ЭОС; 2 – захват атомов углерода на поверхности плѐнки; 3 – захват атомов углерода из газовой фазы; 4 – захват неразложившихся молекул ЭОС

Примеси продуктов разложения ТМОС проявлялись в виде двух слабых полос поглощения $\nu_1 = 2840$ и $\nu_2 = 2940 \text{ см}^{-1}$, соответствующих валентным колебаниям СН-групп и полосы с максимумом 930 см^{-1} , относящейся к колебаниям радикалов вида Si-O-CH₃ [13]. Методом элементного химического анализа в данных плѐнках было найдено С 3,84% масс и Н 1,86% масс. Для углерода это соответствовало 8,5% ат. Одновременное присутствие углерода и водорода, а также наличие СН-групп, определённых из ИК спектров, подтверждает возможность образования полимероподобных включений, например, вида: (- Si - O - CH₂ - O - Si - O -)_n. Количество атомов углерода, найденное в плѐнках масс-спектроскопически (импульсное испарение плѐнки лазером), составляло 7-8% ат.

Из хорошего совпадения этого результата с данными СН-анализа (8,5% ат.) можно сделать вывод, что практически весь углерод в плѐнках SiO₂, полученных из ТМОС, находится в связанном состоянии, очевидно, в виде полимерных включений или продуктов неполного распада ТМОС.

Хотя в плѐнках SiO₂, полученных из ТМОС в оптимальных условиях методом ИК

спектроскопии, не удалось установить наличие продуктов разложения ТМОС, однако результаты масс-спектроскопического исследования газообразных продуктов, выделяющихся из плёнки после её кратковременного нагрева до 800°C в вакууме излучением CO₂ – лазера, показали, что и в этом случае в плёнках SiO₂ присутствовали углеродосодержащие примеси. В выделившихся газах были обнаружены H₂, CH₄, CO₂, H₂O, а также следы высших углеводов (табл. 1).

Таблица 1

Количество выделившихся из плёнки SiO₂ газообразных продуктов в зависимости от условий её получения (в граммах)

№ п/п	W, Вт	T _{ос} , °C	H ₂ , 10 ⁻⁹	CH ₄ , 10 ⁻⁹	H ₂ O, 10 ⁻⁹	CO ₂ , 10 ⁻⁹
1	100	350	50	3,3	10,2	34
2	350	350	15	3,3	8,1	26
3	400	350	17	2,6	6,4	58
4	350	200	70	19,8	9,0	55
5	350	400	40	4,6	7,9	29
6	350	600	4	0,7	3,6	53
7	Si-подложка		-	1,0	5,1	69

При анализе полученных результатов нужно учитывать, что наиболее достоверные данные относятся к H₂ и CH₄, так как вода и двуокись углерода могли быть адсорбированы поверхностью плёнки после её изготовления, о чём свидетельствовал контрольный опыт, сделанный на чистой кремниевой подложке. Все эксперименты проводились в строго идентичных условиях, на плёнках SiO₂ одинаковой толщины (0,3 мкм) и одинаковой площади (1 см²). Анализ результатов показал, что относительное количество захваченных плёнкой H₂ и CH₄ сравнительно мало зависит от мощности ВЧ разряда, в то время как снижение температуры подложки приводит к существенному увеличению газовой выделению из плёнки. Последнее хорошо объясняется увеличением адсорбции продуктов разложения ТМОС при более низких температурах подложки.

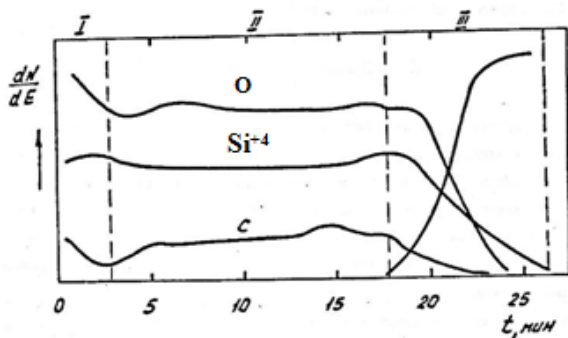


Рис. 4. Относительная интенсивность линий элементов в оже-спектрах плёнки диоксида кремния, полученной из ТМОС, от времени ионного травления

Результаты послойного элементного оже-анализа плёнок SiO₂, полученных из ТМОС в оптимальных условиях (T = 350°C; W = 350 Вт) на Si подложке, показали среднюю концентрацию атомов углерода в плёнке 5,3% ат. (рис. 4). Кремний и кислород находились практически в стехиометрическом отношении.

Для плёнки SiO₂, осаждённые из газовой смеси, содержащей моносилан SiH₄ и углекислый газ CO₂, методом ИК спектроскопии не было зафиксировано примесей, относящихся к C-H или Si-C связям. Аморфный же углерод, как известно, прозрачен в ИК области [19].

Наблюдались полосы поглощения с максимумами 1050,820 см⁻¹, соответствующие валентным колебаниям Si-O, типичные для низкотемпературных плёнок SiO₂. Кроме того, наблюдался небольшой максимум с $\nu = 880$ см⁻¹, отнесённый нами к полуторной окиси кремния Si₂O₃, так как известно, что плёнки, полученные из моносилана, имеют, как правило, избыток атомов кремния по сравнению со стехиометрией.

Методом оже-спектроскопии было установлено отношение кремния к кислороду в плёнках 0,73 вместо стехиометрического отношения 0,5, а также определено среднее содержание атомов углерода, равное 4,5% ат. (рис. 5).

Методом масс-спектропии было установлено, что количество атомов углерода, находящихся в плёнке SiO_2 , возрастает при увеличении общего, а, следовательно, и парциального давления CO_2 в составе газовой фазы (рис. 6) от 1 до 7% ат. Полученные значения хорошо согласуются с количеством атомов углерода (4,5% ат.), найденным оже-спектроскопией.

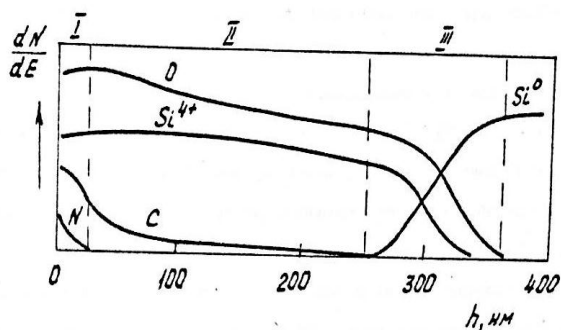


Рис. 5. Зависимости интенсивности линий элементов в оже-спектрах плёнки двуокиси кремния, полученной из смеси $\text{SiH}_4 - \text{CO}_2$, от глубины залегания анализируемого слоя

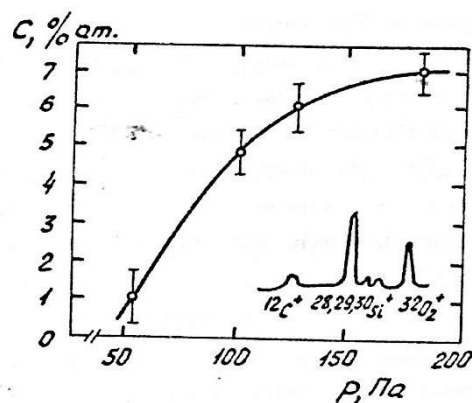


Рис. 6. Концентрация атомов углерода в плёнках SiO_2 в зависимости от давления $\text{SiH}_4 - \text{CO}_2$ и типичной масс-спектр плёнок ($T = 350^\circ\text{C}$, $p_{\text{SiH}_4}/p_{\text{CO}_2} = 0,33$)

Исходная структура и её изменение при термическом отжиге плёнок

Плёнки SiO_2 , полученные при 200–400 $^\circ\text{C}$ как из ТМОС, так и из SiH_4 и CO_2 , были аморфны. На электронограммах присутствовали два диффузно-размытых кольца. Отжиг плёнок в инертной среде аргона приводил к переходу в поликристаллическую структуру, соответствующую смеси фаз α, β – кристобалита. По изменению полуширины дифракционных линий на электронограммах, согласно [20], был определен средний размер частиц кристаллической фазы, изменяющейся при отжиге от 0,5 до 100 нм (рис. 7) и температура начала кристаллизации плёнок, которая для плёнок SiO_2 составила примерно 900–950 $^\circ\text{C}$, что подтверждалось результатами электронно-микроскопических и АСМ исследований.

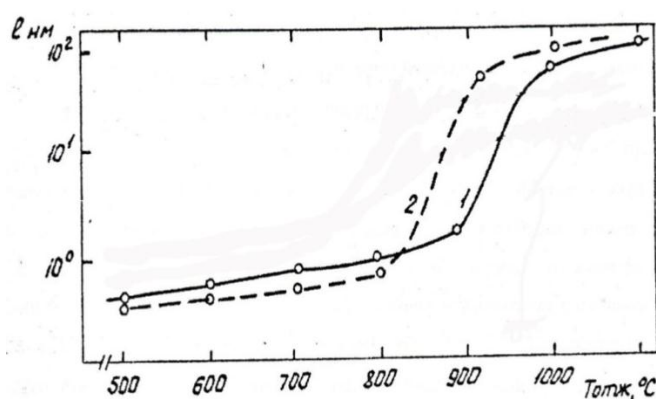


Рис. 7. Средние размеры кристаллических областей в зависимости от термического отжига плёнок SiO_2 : 1 – (ТМОС- O_2); 2 – (SiH_4 - CO_2)

Влияние технологических факторов на электрические свойства плёнок

Основными факторами, определяющими условия разложения исходных реагентов и формирование плёнки на подложке, а, в итоге, и электрические свойства плёнок, являются: температура осаждения, состав парогазовой смеси и мощность ВЧ-разряда. На наш взгляд, влияние перечисленных факторов на электрические свойства плёнок во многом обусловлено присутствием в плёнках углеродосодержащих примесей. В этом случае, количество и вид углеродосодержащих примесей, попавших в диэлектрическую плёнку при её осаждении, должны в определённой степени предопределять и её электрические свойства. Увеличение температуры осаждения плёнок снижало количество захваченных плёнкой углеродосодер-

жащих примесей и улучшало основные электрические характеристики плёнок как диэлектриков. Прямая связь электрических свойств с количеством углеродосодержащих примесей хорошо прослеживалась на плёнках SiO₂, полученных их ТМОС (табл. 2).

Таблица 2
Электрические характеристики плёнок SiO₂, полученных при различной температуре

Плёнка	T _{ос} , °C	C ^{**} , % ат.	tgδ, (1 МГц)	ε, (1 МГц)	E _{пр} · 10 ⁻⁶ , В · см ⁻¹	σ, Ом ⁻¹ · см ⁻¹
SiO ₂ (ТМОС-O ₂)	200	7	0,030	3,8	2-4	6 · 10 ⁻¹⁵
	250	6	0,015	4,0	4-5	8 · 10 ⁻¹⁶
	300	4	0,008	4,2	5-6	4 · 10 ⁻¹⁶
	400	3	0,003	4,1	5-6	3 · 10 ⁻¹⁶
	500	4	0,005	4,1	6-7	2 · 10 ⁻¹⁶

** - Данные масс- и оже-спектроскопии.

При увеличении температуры осаждения плёнок с 200 до 500°C одновременно со снижением количества примесей в плёнках происходило возрастание их электрической прочности, снижение электропроводности и тангенса угла диэлектрических потерь. Необходимо отметить существенное снижение tgδ, что объясняется уменьшением числа релаксирующих центров в виде примесных включений.

Сравнительно высокая электрическая прочность (2-4) · 10⁶ В/см и низкая удельная 6 · 10⁻¹⁵ Ом⁻¹ · см⁻¹ плёнок SiO₂, полученных даже при 200°C, свидетельствуют в пользу того, что углеродосодержащие примеси в плёнках находятся не в «графитоподобном» или в атомарном состоянии, а скорее в виде включений диэлектрической фазы.

Проведение процесса осаждения плёнок SiO₂ разложением ТМОС в отсутствие кислорода, при прочих равных условиях (T_{ос} = 350°C, W = 200 Вт), также приводило к возрастанию концентрации продуктов распада ТМОС в плёнках (до 8-9% ат. по углероду) и увеличению tgδ до 0,1.

Для плёнок SiO₂, полученных из моносилана и углекислого газа, в которых углеродосодержащие примеси находились только в виде атомов углерода, также хорошо прослеживалась зависимость электрических свойств от процентного содержания углерода (табл. 3) и суммарного давления в системе. Наиболее существенное влияние в данном случае примесь атомов углерода оказывала на величину удельной проводимости плёнок, увеличивая её с 1 · 10⁻¹⁵ до 5 · 10⁻¹² Ом⁻¹ · см⁻¹ при возрастании количества углерода с 2 до 7% ат. Такое поведение проводимости плёнок связано с тем, что углерод или небольшие углеродные кластеры являются «электрически активной» примесью и существенно влияют на величину и, возможно, механизм проводимости. Увеличение числа релаксирующих центров в виде примеси углерода приводило также к возрастанию угла диэлектрических потерь.

Таблица 3
Электрические свойства плёнок SiO₂, полученных при различном давлении газовой смеси (p_{SiH₄}/p_{CO₂} = 0,33, T_{ос} = 300°C)

p, Па	C ^{**} , % ат.	σ, Ом ⁻¹ · см ⁻¹	tgδ, (1 МГц)	ε, (1 МГц)
80	2	1 · 10 ⁻¹⁵	0,007	4,5
120	6	1 · 10 ⁻¹³	0,010	4,0
160	7	5 · 10 ⁻¹²	0,050	4,0

** - Данные масс-спектроскопии.

Величина мощности ВЧ-разряда при PECVD способе осаждения плёнок является основным фактором, определяющим энергетику протекания различных химических реакций, необходимых для образования плёнки. В табл. 4 приведены электрические свойства плёнок

SiO₂, полученных из TMOС-O₂ и из SiH₄ – CO₂. В первом случае возрастание ВЧ-мощности снижало угол диэлектрических потерь и проводимость плёнок, а во втором случае – увеличивало.

Таблица 4

Электрические характеристики плёнок SiO₂, полученных при различной мощности ВЧ-разряда ($T_{oc} = 300^{\circ}\text{C}$)

W, Вт	TMOС - O ₂			SiH ₄ + CO ₂		
	σ , Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	ϵ , (1 МГц)	tg δ , (1 МГц)	σ , Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	ϵ , (1 МГц)	tg δ , (1 МГц)
100	$2 \cdot 10^{-15}$	4.8	0.080	$2 \cdot 10^{-15}$	5.0	0.003
200	$6 \cdot 10^{-16}$	4.2	0.015	$3 \cdot 10^{-15}$	4.0	0.070
300	$2 \cdot 10^{-16}$	4.2	0.005	$5 \cdot 10^{-15}$	3.8	0.020

Полученные результаты хорошо объяснимы с точки зрения содержания в плёнках примесей. В обоих случаях возрастание мощности разряда должно способствовать более полному разложению исходных соединений. Однако если в первом случае происходит более полное отщепление углеводородного радикала и снижение концентрации захваченных плёнкой примесей, то во втором случае помимо разложения SiH₄ происходит разложение CO₂ с выделением углерода, в результате чего tg δ и σ – возрастают. Повышенные значения ϵ для плёнок SiO₂, полученных при низкой мощности ВЧ-разряда объясняются в первом случае наличием углеродосодержащих примесей, а во втором случае – присутствием в плёнке избыточных атомов кремния.

Таким образом, влияние различных технологических факторов на электрические свойства низкотемпературных плёнок, полученных PECVD методом, во многом обусловлено присутствием в них углеродосодержащих примесей. Особое внимание следует уделять форме, в которой эти примеси присутствуют в плёнках, так как продукты неполного распада ЭОС оказывают значительно меньшее влияние на электрофизические характеристики, чем примесь атомарного углерода. По нашим результатам, плёнки с высокими диэлектрическими характеристиками могут содержать до 5-6% ат. (по углероду) для первого вида и до 1-2% ат. углерода – для второго.

Библиографический список

1. **Guan, D.** Stress control of plasma enhanced chemical vapor deposited silicon oxide film from tetraethoxysilane / D. Guan [et al.] // J. Micromech. Microeng., 24.2014. № 027001. P. 6.
2. **Чугров, И.А.** Полупроводниковые наноструктуры: электронные, оптические свойства, методы формирования / И.А. Чугров [и др.] // Нанопизика и наноэлектроника: труды XVI Международного симпозиума. – Н. Новгород, 12-16 марта, 2012. Т. 2.
3. **Кузнецов, Ф.А.** Материалы и базовые технологии электронных устройств следующих поколений: диэлектрические слои / Ф.А. Кузнецов [и др.] // Материалы электронной техники. 2007. №4. С. 54–62.
4. **Maeller, T.** Crystalline silicon surface passivation by high-frequency plasma-enhanced CVD nanocomposite silicon suboxides for solar cell applications / T. Maeller, S. Schwertheim and W.R. Fahrner // J. Appl. Phys., 107. 2010. № 014504.
5. **Ежовский, Ю.К.** Получение наноструктурных плёнок оксида и нитрида кремния с использованием нанотехнологий // Неорганические материалы. 2013. Т. 49. № 9. – 971 с.
6. **Any, S.S.** Electrical characterization of low-pressure CVD silicon dioxide metal-oxide-silicon structures / S.S. Any, Y.J. Shi, W.D. Brown // J. Appl. Phys. 1993. №73(5). P. 2397–2401.
7. **Maruyama, T.** Silicon dioxide thin films prepared by CVD from tetrakis silane and ozone / T. Maruyama, T. Shirai // J. Appl. Phys. Lett. 1993. № 63 (5). P. 611-613.
8. **Васильев, В.В.** Плазмомеханическое осаждение плёнок диоксида и нитрида кремния для пассивации поверхности КРТ // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 63–66.

9. **Васильев, В.Ю.** Применение методов химического осаждения тонких слоёв из газовой фазы для микросхем с техническими нормами 0,35-0,18 мкм // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 2010. № 1. – 224 с.
10. Пат. РФ № 2419176. Способ изготовления диэлектрической плёнки для полупроводниковых структур электронной техники / Галахин А.В., Галахин П.А., Лапин В.Г., Петров К.И.; заявл. 15.03.2010.
11. Осаждение плёнок и покрытий разложением металлорганических соединений/ под ред. Г.А. Разуваева. – М.: Наука, 1981. – 322 с.
12. **Корзо, В.Ф.** Плёнки из элементоорганических соединений в радиоэлектронике / В.Ф. Корзо, В.А. Курочкин, В.П. Дёмин. – М.: Энергия, 1973. – 192 с.
13. **Kihel, M.** Dielectric Properties of SiO_x Like Films Deposited From TMS/O₂ Mixture in Low Pressure Microwave Plasma / M. Kihel, S. Sahli, A.Zenasni, P. Raynand, Y. Segui // J. Vacuum, doi: 10.1016/j.vacuum, 2014.02.022.
14. **Jiun-Lin, Yeh.** Structural and optical properties of amorphous silicon oxynitride / Jiun-Lin Yeh, Si-Chen Lee // J. Appl. Phys. 1996. № 79 (2). P. 656–663.
15. **Шитова, Э.В.** Механизм синтеза плёнок нитрида кремния / Э.В. Шитова, В.Ю. Водзинский, Т.А. Крузе // Изв.АН СССР, сер. Неорганические материалы. 1975. Т. 11. № 5. С. 806–809.
16. А.с. СССР, № 913848. Способ получения плёнок оксинитрида кремния / Шитова Э.В., Водзинский В.Ю., Генкина Н.А., Суслов Л.А.; заявл. 10.11.80.
17. **Strater, K.** Controlled oxidation of silane / RCA Rev. 1968.V. 29. № 4. P. 618–629.
18. **Белякова, О.И.** Образование плёнок SiO₂ из тетраалкоксисиланов в потоке кислорода / О.И. Белякова [и др.] // Изв. АН СССР, сер. Неорганические материалы. 1976. Т. 12. №4. С. 631–633.
19. **Holland, L.** The growth of carbon films with random atomic structure from ion impact damage in hydrocarbon plasma / L. Holland, S.M. Ojha. Thin Sol. Films. 1979. V. 58. P. 107–116.
20. **Пинскер, З.Г.** Дифракция электронов / З.Г. Пинскер. – М.: АН СССР, 1949. – 325 с.

*Дата поступления
в редакцию 07.05.2014*

V. Vodzinskiy

EFFECT OF CARBON-CONTAINING IMPURITIES ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF SILICON DIOXIDE FILMS OBTAINED BY PECVD

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The features of the technology of PECVD SiO₂ dielectric films at temperatures of 150-500 ° C from mixtures of tetramethoxysilane (TMOS) and O₂, as well as SiH₄ and CO₂. Were considered using the results of IR , mass spectroscopy and Auger spectroscopy it was obtained quantitative data on the presence of the carbon-containing impurities in films depending on the temperature, the RF power level and the ratio of reactant gases.

The differences in the effect of impurities of the incomplete decay products of TMOS and atomic carbon on the dielectric properties of the films .The technology recommendations were proposed for deposition of the high quality dielectric films.

Key words: dielectric films, tetramethoxysilane, monosilane, carbon-containing impurities, PECVD, dielectric characteristics.