

УДК 539.216.2

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК СИСТЕМЫ $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$

© 1997 г. Ю. Г. Сухарев, И. Л. Акулюшин, В. В. Жеревчук, А. А. Савельев,
А. В. Андриянов, В. С. Миронов, О. В. Поляруш

Одесский политехнический университет

Поступила в редакцию 04.04.96 г.

Исследованы свойства диэлектрических пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$, полученных электронно-лучевым испарением в вакууме. Изучено влияние состава на электрофизические свойства пленок. Из вольт-фарадных характеристик рассчитаны параметры пленки и границы раздела полупроводник-диэлектрик. Изучение влияния температуры и электрического поля показало высокую термическую стабильность пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$. Установлено влияние различных технологических воздействий на оптические характеристики пленок. Показана перспективность применения данных пленок в качестве диэлектрика тонкопленочных электролюминесцентных структур и термостабильных конденсаторов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остро стоит проблема получения высококачественных диэлектрических пленок, обладающих удовлетворительными оптическими и электрическими свойствами, для изделий микроэлектроники.

Большой интерес представляют пленки на основе двойных систем. Варьированием состава и технологических режимов осаждения возможно с достаточной точностью и воспроизводимостью добиться требуемых электрофизических характеристик. Хорошими перспективами обладают пленки системы HfO_2 -оксид РЗМ, так как известно, что кубическая структура диоксида гафния может быть стабилизирована добавками оксидов РЗМ [1]. Эта фаза является наиболее термически устойчивой.

Цель данной работы – исследование физических свойств тонких диэлектрических пленок двойной системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Диэлектрические пленки системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ получали электронно-лучевым испарением в вакууме на стеклянных, сапфировых и кварцевых подложках. При этом осаждение проводили одновременно на подложки для исследования оптических свойств пленок и на подложки, где формировались структуры типа металл-диэлектрик-металл (МДМ) и металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Осаждение вели по оптимальным технологическим режимам для получения наилучших параметров пленок [2, 3]. В качестве электродов использовали алюминиевые

пленки, получаемые термическим испарением в вакууме 5×10^{-5} Па. Для исследования оптических постоянных диэлектрических пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ были сформированы структуры прозрачная подложка-пленка диэлектрика.

Емкости и диэлектрические потери измеряли с помощью приборов Е7-8, Е7-11. Оптические исследования проводили на универсальном спектрально-вычислительном комплексе КСВУ-23.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований свойств пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ различного состава представлены в табл. 1. Эти данные получены усреднением результатов измерений характеристик струк-

Таблица 1. Диэлектрические свойства пленок на основе системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$

№ партии	Nd_2O_3 , %	$\epsilon (f = 1 \text{ кГц})$	$\text{tg } \delta (f = 1 \text{ кГц})$	$E_{\text{пр}}, \text{ МВ/см} (f = 50 \text{ Гц})$	$\text{ТКЕ} \times 10^4, \text{ град}^{-1}$
1	0.00	18	0.030	3.6	2.8
2	7.75	18	0.025	3.4	3.0
3	15.06	17	0.018	3.6	3.0
4	21.98	26	0.005	5.3	3.0
5	25.00	26.5	0.004	6.4	2.7
6	28.52	27	0.003	7.0	2.5
7	34.73	27	0.003	6.4	2.9
8	51.55	17	0.008	1.7	8.2
9	61.48	16	0.012	1.6	12.3
10	100.00	15	0.015	1.3	30.2

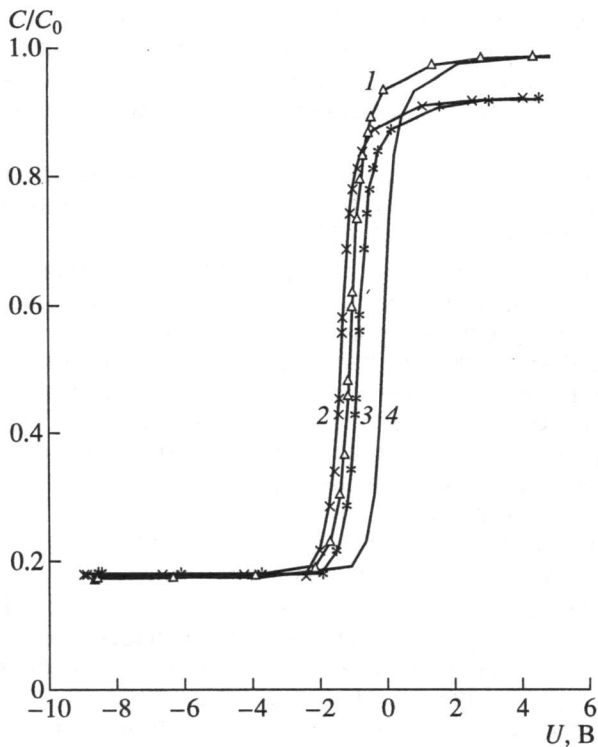


Рис. 1. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур на основе системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ (25 мас. %) (1 – до ТПВ; 2, 3 – после ТПВ с отрицательным и положительным напряжением на затворе соответственно и отжига; 4 – идеальная характеристика).

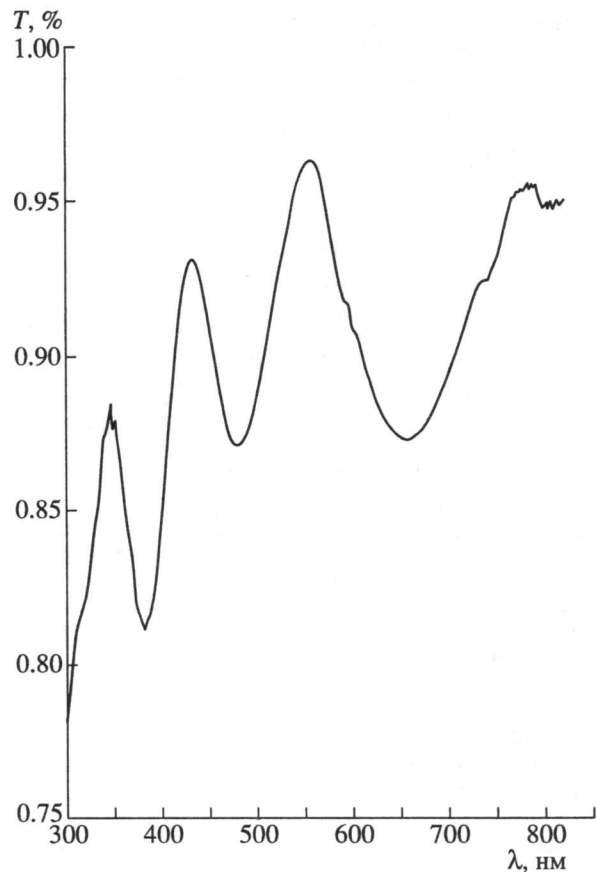


Рис. 2. Спектр пропускания диэлектрической пленки системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ (25 мас. %).

тур на шести подложках (на каждой подложке сформировано по 120 МДМ-структур).

Как видно из табл. 1, полученные пленки обладают высокой диэлектрической проницаемостью, малым значением тангенса угла диэлектрических потерь, высокой электрической прочностью и термической стабильностью. Термообработка при 300°C в кислородсодержащей атмосфере позволила улучшить и стабилизировать электрофизические параметры пленок. Пленки системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ после отжига обладают высокой частотной стабильностью характеристик в диапазоне 1 кГц–1 МГц. Приведенные данные свидетельствуют, что пленки системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ перспек-

тивны для получения термостабильных тонкопленочных конденсаторов. Следует, однако, отметить, что температурный коэффициент диэлектрической проницаемости в пленках системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ больше, чем в HfO_2 .

По проведенным высокочастотным вольт-фарадным и фарад-секундным измерениям рассчитаны напряжение плоских зон (U_{FB}), эффективная плотность заряда в диэлектрике (Q_{FB}), эффективное время жизни носителей заряда (τ_g), энергетическая плотность поверхностных состояний (N_{SS}) на границе раздела полупроводник–диэлектрик

Таблица 2. Электрофизические свойства МДП-структур на основе пленок диэлектрика $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ (25 мас. %)

Условия	До ТПВ и ТО	ТПВ I без ТО	ТПВ II без ТО	ТПВ I после ТО	ТПВ II после ТО
U_{FB} , В	-1	-1.3	-1.27	-1.15	-0.94
Q_{FB} , Кл/см ²	43.7×10^{-8}	5.7×10^{-8}	5.5×10^{-8}	5.5×10^{-8}	4.1×10^{-8}
Гистерезис, В	0.6	0.3	0.2	0.25	0.2
N_{SS} , эВ ⁻¹ /см	6.2×10^{11}	6.5×10^{12}	4.1×10^{12}	8.5×10^{11}	5.5×10^{11}
τ_g , мкс	1.04	3.9	0.92	2.2	1.8

Примечание. I – отрицательное напряжение смещения на затворе, II – положительное (см. текст).

Таблица 3. Зависимость оптических параметров пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ от состава

Nd_2O_3 , мас. %	λ , нм	n_2	k	Подложка
0	384	1.79		Стекло, кварц
	470	1.75	0.095	
	624	1.69	0.12	
	800	1.61	0.08	
15	452	1.6		Стекло, кварц
	698	1.72	0.12	
25	434	1.74		Стекло, кварц, сапфир
	542	1.63	0.075	
	698	1.58	0.07	
	864	1.57	0.065	
28.5	366	1.64		Стекло, кварц
	538	1.73	0.1	

Примечание. n_2 и k – показатели преломления и поглощения соответственно.

Таблица 4. Влияние различных технологических воздействий на оптические параметры пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ (25 мас. %)

Воздействие	λ , нм	n_2	k	Подложка
ТО в вакууме, 250°C	434	1.75		Кварц, сапфир
	542	1.66	0.1	
	698	1.56	0.1	
	864	1.53	0.11	
ТО на воздухе, 250°C	434	1.75		Кварц
	542	1.66	0.1	
	698	1.57	0.11	
	864	1.54	0.12	
ТО на воздухе, 500°C	434	1.63		Кварц
	542	1.61	0.11	
	698	1.56	0.12	
	864	1.52	0.12	
Кипячение в воде, 1 ч	434	1.76		Кварц, стекло
	542	1.74	0.13	
	698	1.71	0.16	
	864	1.69	0.19	

по методике [4]. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Для определения вклада различных механизмов в измеренный поверхностный заряд МДП-структуры подвергались воздействию температуры и электрического поля – термополевым воздействием (ТПВ), что позволило оценить подвижный заряд и его участие в образовании поверхностного заряда

в полупроводнике. ТПВ проводили с нагревом до 200°C в течение 1 ч при положительном и отрицательном напряжениях смещения на затворе с напряженностью электрического поля в диапазоне $10^4\text{-}10^5$ В/см.

На рис. 1 приведена типичная вольт-фарадная характеристика МДП-структуры с диэлектриком системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ (25 мас. %).

Как видно из рис. 1, после ТПВ удельная емкость снижается на 5–7%. Это явление, возможно, обусловлено процессом выгорания “каналов тока” – участков диэлектрика, обладающих повышенной проводимостью, а также доокислением восстановленных при напылении атомов РЗМ. В результате увеличивается стабильность диэлектрика и снижается дисперсия электрофизических характеристик по поверхности пластины. Подбирая режимы ТПВ, можно изменять поверхностную плотность заряда в диапазоне $\pm 25\%$.

Исследовали спектральные зависимости коэффициента пропускания диэлектрических пленок. Типичная спектральная зависимость приведена на рис. 2. Оптические постоянные рассчитывали по методике [5]. Результаты расчета оптических параметров сведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, исследованные пленки обладают хорошей прозрачностью и сравнительно высоким показателем преломления в видимом диапазоне.

По своим интегральным свойствам пленки системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ могут быть использованы, например, в качестве диэлектрика тонкопленочных электролюминесцентных структур (ТПЭЛС). Диэлектрические пленки в ТПЭЛС должны иметь хорошую устойчивость и стабильность оптических характеристик к воздействию влаги, температуры и др., так как только для стабилизации параметров устройства температура отжига составляет порядка 500°C.

Для исследования влияния термического воздействия на параметры пленок образцы отжигали на воздухе и в вакууме. Остаточное давление в камере составляло 5×10^{-5} Па. Для изучения влагостойкости исследуемые оптические покрытия кипятили в воде в течение 1 ч. После обработки образцов повторно измеряли спектральный коэффициент пропускания и рассчитывали оптические постоянные. Результаты приведены в табл. 4.

Как видно из сопоставления данных табл. 3 и 4, влияние термообработки (ТО), проведенной на воздухе и в вакууме при равной температуре, на оптические свойства пленок практически равнозначно. Технологические воздействия не приводят к существенному изменению оптических параметров пленок. Исключение составляет процесс кипячения, в результате которого уменьшается дисперсия показателя преломления. Од-

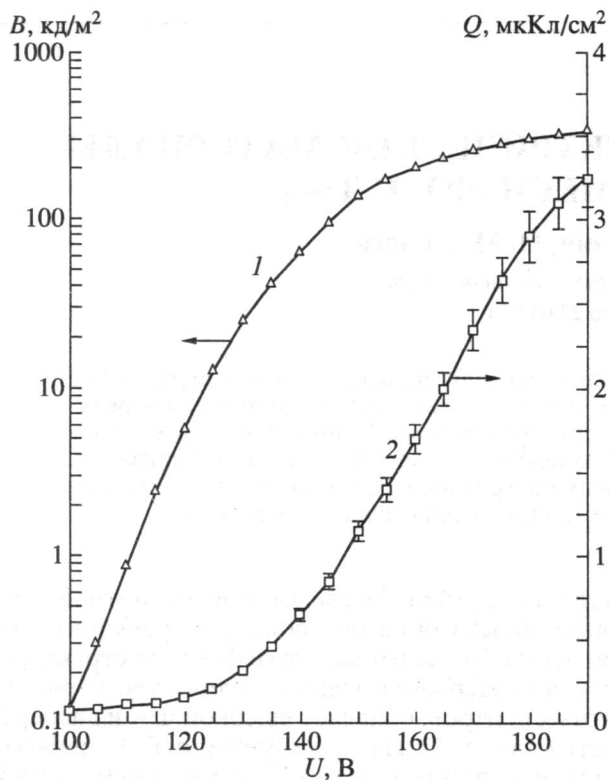


Рис. 3. Вольт-яркостная (1) и вольт-зарядовая (2) характеристики тонкопленочных электролюминесцентных структур.

нако для пленок, подвергавшихся повторному отжигу (при 500°C) после кипячения, прежние значения оптических параметров восстанавливались, что указывает на высокую стабильность пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$.

При использовании пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ (25 мас. %) были сформированы тонкопленочные электролюминесцентные структуры (ТПЭЛС) типа металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл (МДПДМ). Вольт-ярко-

стная и вольт-зарядовая характеристики таких структур приведены на рис. 3. Полученные ТПЭЛС имеют низкое пороговое напряжение, высокую яркость и значительный запас электрической прочности. Применение пленок системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ в качестве диэлектрических слоев ТПЭЛС позволило снизить пороговое напряжение в 1.5–2 раза по сравнению с ТПЭЛС, в которых традиционно используется, например, Y_2O_3 или Al_2O_3 , причем осаждение диэлектрических слоев проводили методом, совместимым с осаждением слоя полупроводника – сульфида цинка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диэлектрические пленки на основе системы $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$ обладают хорошим сочетанием диэлектрических, электрических и оптических свойств, что делает их перспективными для получения термостабильных конденсаторов, а также для применения в устройствах отображения информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушкова В.Б., Кравчинская М.В., Кузнецов А.К., Тихонов П.А. Диоксид гафния и его соединения с оксидами редкоземельных элементов. Л.: Наука, 1984. С. 176.
2. Сухарев Ю.Г., Акулюшин И.Л., Миронов В.С. и др. Электрофизические свойства пленок систем $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$, $\text{HfO}_2\text{-Nd}_2\text{O}_3$, $\text{HfO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ // Неорган. материалы. 1994. Т. 30. № 4. С. 556–558.
3. Сухарев Ю.Г., Бойко В.А., Цацко В.И. и др. Получение и диэлектрические свойства пленок окислов редкоземельных элементов // Электрон. техника. Сер. 6, Материалы. 1987. Вып. 4(225). С. 62–65.
4. Батавин В.В., Концевой Ю.А., Федорович Ю.В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. М.: Радио и связь, 1985. С. 264.
5. Комраков Б.М., Шапочкин Б.А. Измерение параметров оптических покрытий. М.: Машиностроение, 1986. 131 с.