

# Разработка миниатюрных конденсаторов для микрополосковых линий передачи

О.А. Воронкова

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** Представлены данные о разработке миниатюрных конденсаторов для микрополосковых линий передачи. Рассмотрены 2 способа изготовления конденсаторов: за счет использования в качестве диэлектрика конденсатора термического окисла кремния с емкостью 200-400пФ и за счет нитрида кремния с емкостью 80-120пФ. Предложен способ и технология получения прецизионных конденсаторов на основе термического окисла с емкостью  $5 \pm 0,5$ пФ

**Ключевые слова:** миниатюрные конденсаторы, полупроводниковые элементы, термический окисел, нитрид кремния, микроэлектроника.

В последние годы широкое распространение получили технологии микрополосковых схем, в которых входит полупроводниковый конденсатор. Применение в качестве диэлектрика конденсатора термического окисла или нитрида кремния позволяет получать конденсаторы с требуемой емкостью и улучшенными параметрами. Все это можно реализовать с помощью технологических процессов изготовления полупроводниковых элементов, таких как термическое окисление, напыление, фотолитография и гальваническое осаждение материалов.

Данные конденсаторы могут быть использованы при производстве микрополосковых схем фильтров, трансформаторов. С их помощью также могут быть реализованы СВЧ устройстваспутниковой, радиорелейной связи, широкополосного доступа, использующие Wi-Fi и Wi-Max технологии, локаторы и навигаторы для систем связи, позиционирования и дистанционного контроля. Микрополосковые устройства, обладают малыми массой и габаритами, характеризуются расширенным диапазоном частот и функциональными возможностями при воздействии различных внешних факторов, лучшей электромагнитной совместимостью и помехозащищенностью.

Целью данной работы является использование процессов микроэлектронной технологии для изготовления конденсаторов, в качестве диэлектрика в которых применяется термический окисел кремния и нитрид кремния, с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=2-4$ , и значением тангенса угла диэлектрических потерь до  $8 \cdot 10^{-4}$ .

В настоящей работе рассматривается два способа получения микроконденсаторов на основе кремния с различным диэлектриком конденсаторов.

Первый способ получения заключается изготовлении конденсаторов с термическим окислом в качестве диэлектрика.

Термическое окисление кремния является одним из наиболее технологичных и широко применяемых на практике методов. Этот процесс проводят в различных окислительных средах: сухом кислороде, увлажненном кислороде, водяном паре.

Коэффициент преломления имеет самые низкие значения у слоев, полученных в парах воды, так как плотность слоев, полученных в парах воды, несколько ниже, чем в сухом кислороде. В табл. 1 приведены некоторые характеристики оксидных слоев на кремнии, полученных методом термического окисления в различных средах.

**Таблица 1.** Свойства оксидных слоев на кремнии, полученных методом термического окисления в различных средах

Атмосфера окисления	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Показатель преломления	Удельное сопротивление, Ом см	Диэлектрическая прочность, В/см
Водяной пар	2,00—2,20	1,45—1,46	$10^{15}$ — $10^7$ $3 \cdot 10^{15}$ —	$(7—9) \cdot 10^6$
Сухой кислород	2,24—2,27	1,460—1,466	$2 \cdot 10^{16}$ $10^{15}$	$2 \cdot 10^6$
Влажный Кислород	2,18—2,21	1,435—1,458	$10^{15}$ — $10^{16}$	$(4—5)10^6$

Установлено, что слои SiO<sub>2</sub>, полученные во влажном кислороде, почти не имеют дефектов, в то время как в слоях, полученных в атмосфере водяного пара, их много. Как видно из таблицы, диэлектрическая проницаемость термического окисла находится в интервале значений  $\epsilon=2-3$ .

Исходным материалом для получения конденсаторов являются подложки КЭМ с удельным сопротивлением 0,003 Ом·см. Слои, полученные в атмосфере кислорода, более чувствительны к очистке поверхности перед окислением. Перед термическим окислением проводится следующая обработка. На подложках кремния проводилась плазмохимическая очистка в атмосфере кислорода в течение 5 мин. Для удаления органических примесей проводилось кипячение в HNO<sub>3</sub> с последующей обработкой в HF.

Термическое окисление кремния проводится на установке СДОМ-3/100-2М во влажном кислороде.

В таблице 2 показаны режимы формирования термического окисла.

**Таблица 2.** Режимы формирования термического окисла.

№ режима	Температура процесса, С	Время выдержки, мин			Толщина пленки двуокси кремния
		В сухом кислороде	Во влажном кислороде	В сухом кислороде	
1140-50-12	1140	30	12	30	0,30±0,5
1140-50-70	1140	30	70	30	0,75±0,5

Из-за разности коэффициента термического расширения окисла и кремния после отработки всех шагов технологического процесса и перехода реактора в режим остывания проводится пошаговая выгрузка кассеты с пластинами кремния до температуры менее 800 °С. Для этого проводится постепенное выдвигание кассеты на расстояние 10-15 см. 4-5 раз

В таблице 3 приводятся параметры микроконденсаторов с термическим окислом.

**Таблица 3.** Характеристики конденсаторов с термическим окислом.

	Оксид	Толщина окисла мкм	Толщина пластины мкм	Номинал емкости пФ	Металлизация подложки
КРПГ.757761.006	SiO <sub>2</sub>	0,3	100±20	200-400	Ti-Ni
КРПГ.757761.014 -07	SiO <sub>2</sub>	0,3	100±20	10-20	Au(3)
КРПГ.757761.014 -09	SiO <sub>2</sub>	0,75	100±20	1-3	Si
КРПГ.758773.051	SiO <sub>2</sub>	0,3	100±20	8-12	Ti-Ni
КРПГ.758773.053	SiO <sub>2</sub>	0,3	100±20	200-400	Ti-Ni
ТС7.088.005-20	SiO <sub>2</sub>	0,85	250±20	5-10	Si
ТС7.088.005-21	SiO <sub>2</sub>	0,85	250±20	30-60	Si
ТС7.088.005-22	SiO <sub>2</sub>	0,85	100±20	5-10	Si

Второй способ заключается в использовании в качестве диэлектрика конденсатора нитрида кремния.

Формирование нитрида кремния проводилось методом химического осаждения из газовой фазы. Нитрид кремния наносится при давлении 120Па, температуре 450°C и мощности 70 Вт. При этом показатель преломления составлял  $n=1.92$ .

В таблице 4 приведены характеристики конденсаторов с нитридом кремния в качестве диэлектрика.

Таблица 4. Характеристики конденсаторов с нитридом кремния.

Наименование	Оксид	Толщина окисла мкм	Толщина пластины мкм	Номинал емкости пФ	Металлизация подложки
КРПГ.757761.005	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.21±0,01	100±20	40-80	Ti-Ni
КРПГ.757761.007	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0,17	100±20	10-16	Ti-Ni
КРПГ.757761.008	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.33	100±20	80-130	Au(3)
КРПГ.757761.008-01	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0,12	100±20	200-400	Au(3)
КРПГ.757761.014 -02	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.27	100±20	80-120	Au(3)
КРПГ.757761.014 -03	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.25	350±30	80-120	Au(3)
КРПГ.757761.014-04	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.27	350±30	40-60	Si
КРПГ.757761.014 -05	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.27	350±30	80-120	Si
КРПГ.757761.014 -06	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.27	100±20	80-120	Si
КРПГ.757761.014 -08	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.31	100±20	80-120	Au(3)
КРПГ.758773.020	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.22±0,02	100±20	15-25	Au(3)
КРПГ.757761.016	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0,17	100±20	100/60/100±20	Au(3)
КРПГ.757761.017	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0,32	100±20	100-140	Au(3)

## Заключение

В данной работе рассмотрены два способа изготовления полупроводниковых конденсаторов – с диэлектриком на основе термического окисла и на основе нитрида кремния. Разработаны конденсаторы, которые имеют емкость 5-400пФ. Полученные конденсаторы могут быть использованы в микрополосковых схемах. При изготовлении конденсаторов использованы технологические процессы, совмещенные с технологией микроэлектронных элементов, благодаря чему возможно массовое изготовление конденсаторов.