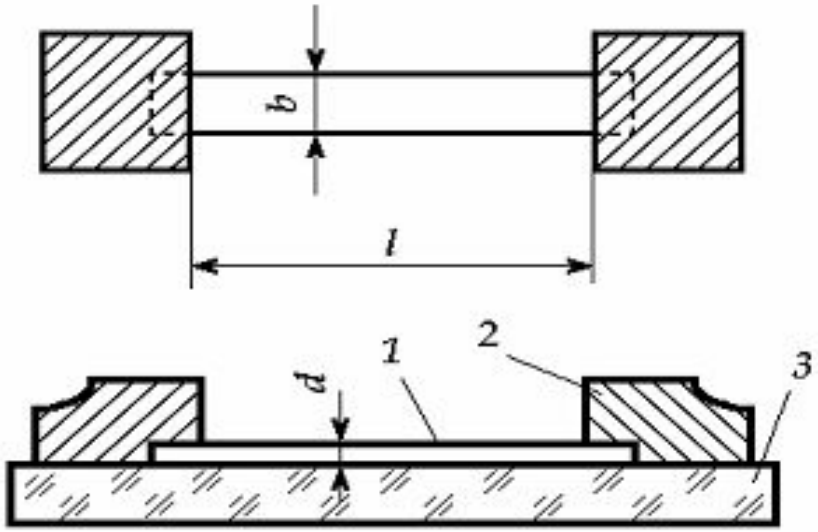
Технология изготовления полупроводниковых тонкопленочных резисторов и конденсаторов

Тонкопленочные резисторы



1 — резистивная пленка;
2 — контактная пленка проводящего материала;
3 — подложка

Проблема создания тонкопленочных резисторов связана с технологическими вопросами получения следующих характеристик пленки резистивного материала:

- удельного сопротивления пленки, его воспроизводимости и стабильности во времени;
- удельной рассеиваемой мощности пленки;
- температурного коэффициента сопротивления (ТКС);
- эксплуатационных характеристик (спектра и уровня шумов и др.).

Взаимосвязь конструктивных и технологических параметров резисторов устанавливается основным уравнением для их расчета

$$R = \frac{\rho_v \cdot l}{b \cdot d},$$

где R — сопротивление резистора, Ом;

ρ_v — удельное объемное сопротивление материала резистивной пленки, Ом×м;

l, b, d — соответственно длина, ширина и толщина резистора

Проектируя тонкопленочные резисторы, предполагают, что и толщина резистивной пленки одна и та же для всех одновременно изготавливаемых резисторов.

Это позволяет ввести понятие ρ_S – поверхностного удельного сопротивления резистивной пленки, величина которого определяется только удельным объемным сопротивлением материала резистивной пленки и его толщиной и численно равна сопротивлению резистора квадратной формы с произвольным размером сторон и имеет размерность — Ом/ .

$$R = \rho_s \frac{l}{b} = \rho_s K_\phi,$$

где $K_ф$ – коэффициент формы или число квадратов резистора.

Конфигурация тонкопленочных резисторов

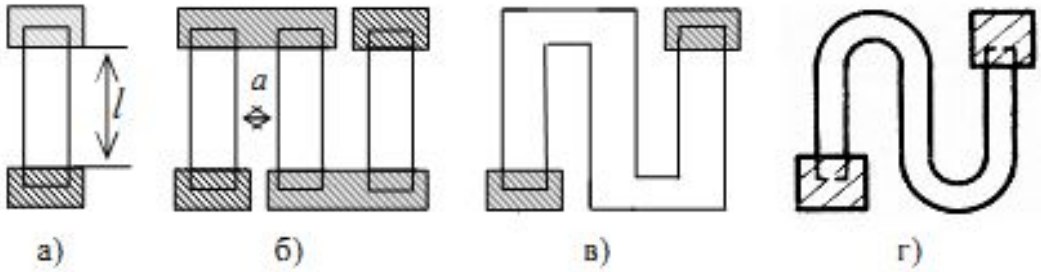


Рис. – Конфигурация тонкопленочных резисторов:
а – полоска; б – составной из полосок; в – меандр; г – змейка.

Контактные площадки следует располагать с противоположных сторон резистора для устранения погрешности совмещения проводящего и резистивного слоев.

Материалы тонкопленочных резисторов

К материалам, в первую очередь, предъявляются определенные требования по *поверхностному сопротивлению*.

Наибольшее распространение имеют резисторы с сопротивлениями от 10 Ом до 10 Мом. Для обеспечения таких параметров необходимо, чтобы поверхностное сопротивление слоя составляло $10\text{-}10^5$ Ом/ (так как линейные размеры резисторов приходится ограничивать).

Резистивные пленки должны характеризоваться низким температурным коэффициентом сопротивления ТКС (менее 10^{-4} 1/°С).

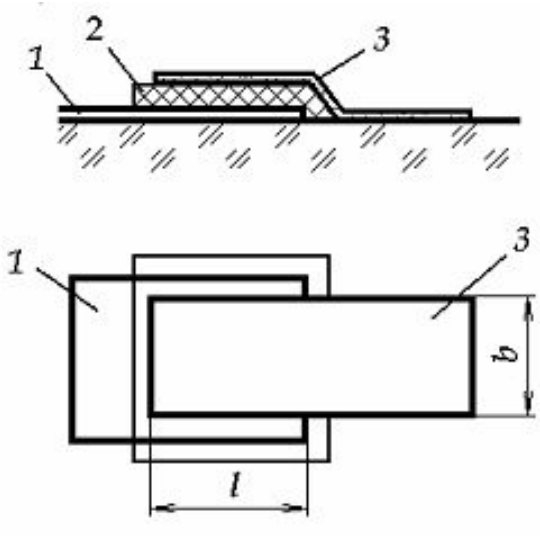
Материалы, используемые для тонкопленочных резисторов, можно разделить на три группы:

- металлы;
- металлические сплавы;
- металлодиэлектрические смеси – керметы.

Таблица 2.3 – Основные параметры материалов тонкопленочных резисторов

Материал		Параметры			
Для напыления резистивной пленки	Контактных площадок	Удельное поверхностное сопротивление резистивной пленки ρ_S ,Ом/□	Диапазон номинальных значений сопротивлений, Ом	Допустимая удельная мощность рассеяния P_0 , Вт/см^2	Температурный коэффициент сопротивления ТКС при T=–60÷125°С
Нихром, проволока Х20Н80	Медь	300	50 – 30 000	2	$1\cdot10^{-4}$
Нихром, проволока	Золото с подслоем хрома	10	1 – 10 000		$-2{,}25\cdot10^{-4}$
		50	5 – 50 000		
Сплав МЛТ-3М	Медь с подслоем ванадия (луженая) Медь с подслоем нихрома (защищенная никелем)	500	50 – 50 000		$2\cdot10^{-4}$
Хром	Медь (луженая)	500	50 – 30 000	1	$0{,}6\cdot10^{-4}$
Кермет К-50С (ЕТО.021.013 ТУ)	Золото с подслоем хрома (нихрома)	3000 5000 10 000	1000 – 10 000 500 – 200 000 10 000 – 10^6	2	$3\cdot10^{-4}$ $-4\cdot10^{-4}$ $-5\cdot10^{-4}$

Тонкопленочные конденсаторы



Тонкопленочный конденсатор имеет трехслойную структуру **<u>металл – диэлектрик – металл</u>**, расположенную на изолирующей подложке.

1) **Емкость конденсатора** определяется как

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon s}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon l \cdot b}{d},$$

где ε_0 — электрическая постоянная;
ε — диэлектрическая постоянная материала;
s — поперечное сечение обкладок конденсатора (активная площадь);
l,b — длина и ширина обкладок;
d — толщина диэлектрической пленки.

При проектировании конденсаторов и разработке технологии их изготовления используют понятие об удельной емкости C_0, как одной из характеристик диэлектрического слоя

$$C_0 = \frac{C}{s} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{d}.$$

Чем больше *Co*, тем меньшую площадь занимает конденсатор на подложке

2) **Электрическая прочность** $E_{пр}$, т.е. напряженность электрического поля, при которой происходит пробой конденсатора. Электрическая прочность определяется экспериментально по пробивному напряжению $U_{пр}$ как $E_{пр} = U_{пр}/d$.

Рабочее напряжение конденсатора должно быть меньше напряжения пробоя, т.е.

$$U_{раб} = \frac{U_{пр}}{K_з} = \frac{E_{пр} \cdot d}{K_з},$$

Из последнего соотношения можно сформулировать условие выбора минимальной толщины диэлектрика

$$d \geq \frac{U_{раб} K_з}{E_{пр}}.$$

Материалы тонкопленочных конденсаторов

Параметры тонкопленочного конденсатора определяются в основном диэлектрическим материалом.

Однако следует иметь в виду, что на свойства диэлектрика могут оказывать существенное влияние металлические обкладки.

Поэтому при разработке конденсаторов необходимо выбирать совместно всю совокупность входящих в их структуру материалов.

Диэлектрик. К основным характеристикам диэлектрических материалов для конденсаторов относятся диэлектрическая постоянная ε и электрическая прочность Ed.

Диэлектрические материалы должны обладать минимальной гигроскопичностью, высокой механической прочностью при циклических изменениях температуры, хорошей адгезией к подложкам.

Диэлектрические материалы, используемые для тонкопленочных конденсаторов в основном представляют собой окислы полупроводников и металлов.

Из ***окислов полупроводников*** наибольшее распространение в тонкопленочной технологии получили окисел кремния SiO и окисел германия GeO, имеющие высокую диэлектрическую проницаемость.

Наибольший интерес представляет ряд ***окислов тугоплавких металлов***, таких как Ta_2O_5, TiO_2, HfO_2, Nb_2O_5. Эти материалы по сравнению с другими окислами обладают наиболее высокими значениями диэлектрической проницаемости. Технология получения этих пленок развита далеко не в равной мере. Наиболее отработана технология пленок Ta_2O_5.

Материалы обкладок. К материалам обкладок предъявляются следующие требования:

- низкое сопротивление 0,05–0,2 Ом/ ,
- ровная и гладкая поверхность
- малый коэффициент диффузии.

Отказ ТПК чаще всего происходит из-за закорачивания, которое зависит как от качества диэлектрической пленки, так и от качества обкладок.

Наилучший выход получается при использовании **алюминия**, который имеет низкую температуру испарения и малую подвижность атомов на поверхности, благодаря окислительным процессам.

Конструкции тонкопленочных конденсаторов

К конструкции конденсаторов предъявляется ряд конструктивно-технологических требований:

- минимальные габаритные размеры;
- воспроизводимость характеристик в процессе производства;
- совместимость технологии их изготовления с процессами производства других элементов гибридной интегральной схемы.

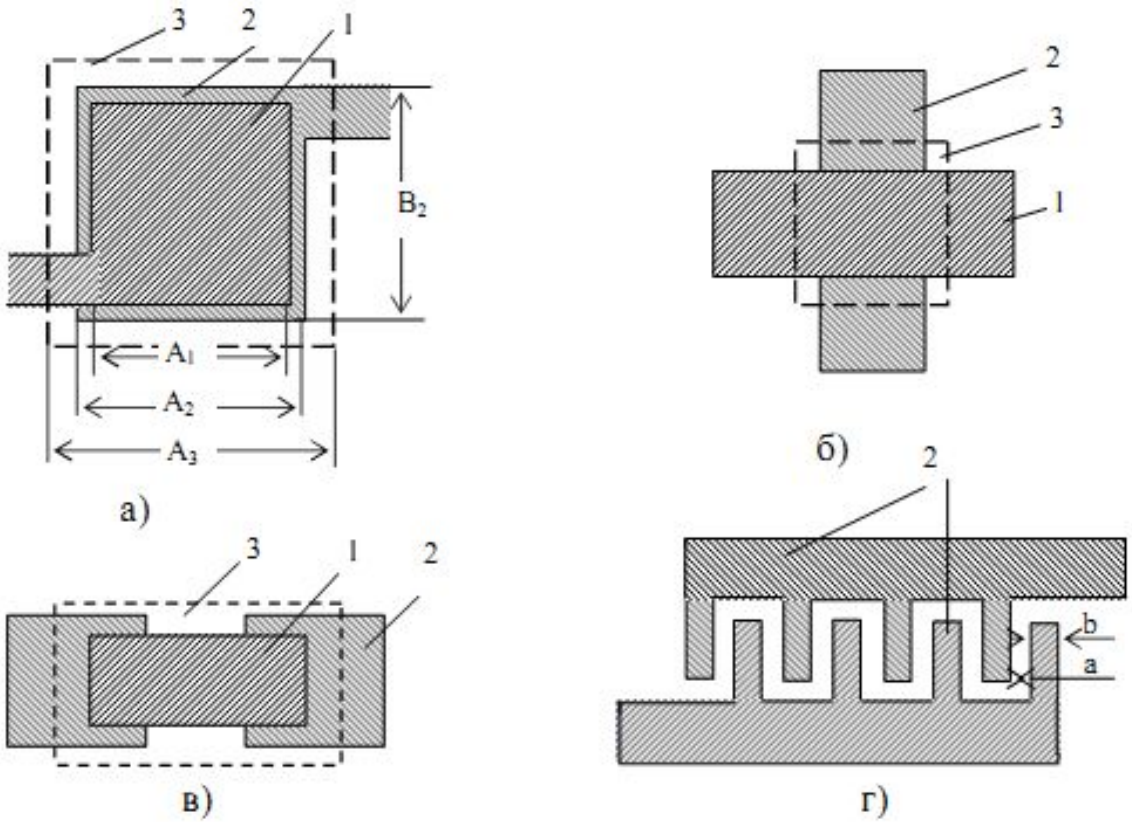


Рис. 2.8 – Конструкции пленочных конденсаторов:
1 – верхняя обкладка; 2 – нижняя обкладка; 3 – диэлектрик