

УДК 621.383

## Система металлизации КМОП-мультиплексоров для элементов микроболометрической матрицы 160×120

Г. П. Бондарева, В. К. Борисов, Е. А. Климанов  
ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

*Рассмотрены вопросы межслойной изоляции и планаризации при изготовлении мультиплексоров с двухуровневой металлизацией. Приведены параметры разработанного КМОП-мультиплексора для микроболометрических матриц форматом 160×120.*

Монолитное исполнение микроболометрической матрицы (МБМ) предполагает размещение мостиковой структуры над схемой считывания сигнала. Для разрабатываемой МБМ форматом 160×120 на основе окислов ванадия схема обработки и считывания сигнала (ИСОП) показана на рисунке.

Сигнал с болометрической ячейки через *p*-МОП-ключи, управляемые КМОП-регистром опроса, поступает на строчный усилитель, на емкости которого происходит его накопление. Здесь же осуществляется вычитание постоянной составляющей тока болометрической ячейки строки. С этой целью из внешнего ПЗУ через ЦАП на компенсирующий генератор тока усилителя строк поступают корректирующие сигналы, запомненные в режиме калибровки МБМ и содержащие информацию о величине темнового тока каждой ячейки. Сигнал со строки коммутируется *n*-МОП-ключами, управляемыми "быстрым" регистром строк, построенном по динамической схеме.

В качестве базовой была выбрана LOCOS-технология КМОП-мультиплексора с двумя карманами. После формирования затворов и легирования областей стоков и истоков КМОП-транзис-

торов осуществлялась изоляция поликремниевых шин и первого уровня металлизации. Межслойная изоляция формировалась путем последовательного нанесения двух пиролитических пленок SiO<sub>2</sub> толщиной по 0,3 мкм каждая. Первый слой оксида наносился посредством разложения термоэлектрической охлаждающей системой (ТЭОС) при температуре 800 °С, второй — формировался путем пиролиза моносилана при более низкой температуре (450 °С). Такой способ нанесения обеспечивал чрезвычайно низкую дефектность изолирующего диэлектрика (< 10 пор/см<sup>2</sup>) и, что не менее важно, улучшал состояние границы раздела SiO<sub>2</sub>—Si.

В качестве первого уровня металлизации использовалась трехслойная система V—Al—Mo с толщинами 0,1—0,5—0,1 мкм, соответственно. Нижний слой V препятствовал миграции Si в Al и наоборот в процессе вжигания металла, что предохраняло мелкие *p-n*-переходы от закороток. Верхний слой Mo защищал поверхность Al от окисления и обеспечивал хороший омический контакт со вторым уровнем металлизации. Толщина металла выбиралась из условия отсутствия разрывов на рельефе ПК-шин.

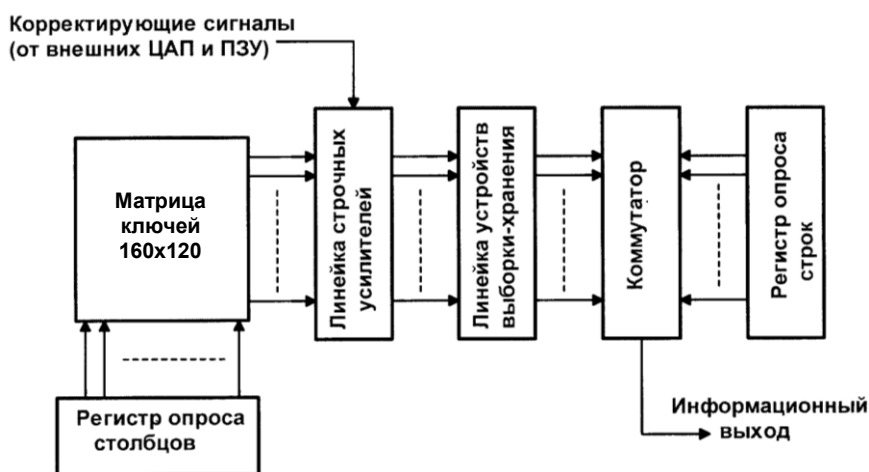


Схема обработки и считывания сигнала (ИСОП)

Наибольшую сложность при разработке технологии ИСОП представлял выбор межслойного изолятора, разделяющего два уровня металлизации. Данное обстоятельство обусловлено необходимостью использовать при нанесении диэлектриков относительно низких температур (<500 °С), а также наличием развитого рельефа. Действительно, суммарная высота рельефа ПК-шин и первого уровня металлизации превышала 1,1 мкм, не считая непланарности рельефа окисленной поверхности.

В качестве межслойных диэлектриков прорабатывались материалы, представленные в таблице. Диоксид кремния наносился пиролитическим разложением моносилана на установке "Ругох 216". При добавлении в процессе выращивания SiO<sub>2</sub> паров триметилового эфира фосфорной кислоты формировались слои ФСС, при этом концентрация фосфора в стекле составляла 11 вес. %. Нитрид кремния наносили магнетронным распылением мишени Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> на установке L-560. Пленка полиимидного лака АД 1903 формировалась посредством центрифугирования с последующей просушкой в аргоне в течение 30 мин. Эмульситоны наносились на пластину также методом центрифугирования из раствора ТЭОС в изопропиловом спирте. Для образования пленки SiO<sub>2</sub> осуществляли отжиг структур.

Для определения локальной пористости диэлектриков применялся пузырьковый метод, а информацию о дефектности пленок на всей пластине давал метод плоского конденсатора. Размер каждого конденсатора соответствовал размеру чипа

ИСОП. Общая площадь, занимаемая конденсаторами, составляла 85 % всей площади пластины. Дефектность диэлектриков определялась на ИСОП при рабочем напряжении  $U = 12$  В.

В таблице представлены результаты измерения оплошности диэлектрических пленок с толщинами 0,4 и 0,8 мкм. В целях исключения окисления Мо при нанесении диэлектриков металлизация первого уровня защищалась 0,1-мкм слоем магнетронного SiO<sub>2</sub>. В таблице также приведены данные о плотности заряда на границе раздела SiO<sub>2</sub>—Si, полученные C—V-измерениями ( $f = 1,0$  МГц) на контрольных образцах после нанесения межслойной изоляции.

Видно, что минимальные дефекты имеют пленки толщиной 0,8 мкм на основе пиролитического окисла, эмульситонов и системы SiO<sub>2</sub>—ФСС—SiO<sub>2</sub>. Использованию эмульситонов препятствуют высокие температуры их полимеризации минимальная температура отжига, при которой происходит полимеризация эмульситонов, составила 550 °С, при этом, чтобы не допускать растрескивания образующегося окисла, необходимо проводить загрузку и выгрузку пластин при температуре, не превышающей 250 °С, а также иметь толщину пленки не более 0,2 мкм. Поверхность слоистой системы SiO<sub>2</sub>—ФСС—SiO<sub>2</sub> более гидрофильна, чем у однослойных пиролитических пленок и в связи с этим обладает худшей адгезией фоторезиста. Следовательно, для межуровневой изоляции предпочтительнее использовать пиролитические пленки оксида кремния.

Межслойный диэлектрик (толщина, мкм)	Процент дефектных конденсаторов		Число пор на 1 см <sup>2</sup> после отжига*	Плотность заряда на 1 см <sup>2</sup> после отжига**
	до отжига	после отжига*		
SiO <sub>2</sub> (0,4) (0,4—0,4)	0	5,0 1,7	30 0	3,0 E11 1,5 E11
SiO <sub>2</sub> —ФСС—SiO <sub>2</sub> (0,1—0,2—0,1) (0,2—0,4—0,2)	0	38,0 1,7	20 0	2,0 E11 9,5 E 10
SiO <sub>2</sub> —Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (0,2—0,4) (0,4—0,4)	0	25,0 6,0	10 0	-1,2 E11 -1,2 E11
Полиимидный лак (0,4) (0,8) (2,0)	5 0 0	65,0 27,5 1,7	250 120 0	1,1 E11 9,0 E 10 6,4 E 10
Эмульситоны (0,2—0,2) (0,2—0,2—0,2—0,2)	32 0	5,0 1,7	40 0	9,0 E 10 7,5 E 10

\* Отжиг:  $T = 450$  °С,  $t = 60$  мин, азот.

\*\* Плотность заряда до отжига  $Q_{FB} = 7,0$  E10.

После вскрытия в слое  $\text{SiO}_2$  контактных окон формировался второй уровень металлизации. Использовалась система V—Al, наносимая без развакуумирования на установке магнетронного распыления Z-560. Тонкая пленка V ( $h = 0,1$  мкм) выполняла функцию адгезионного слоя, а суммарная толщина металла, выбранная из условия целостности коммутации, составила 1,0 мкм.

Таким образом, неоднородность рельефа, обусловленная пересечением двух уровней металла, достигала 1,7 мкм. Следует отметить, что для построения интегрального варианта МБМ неоднородность рельефа не должна превышать 0,2—0,4 мкм. При отсутствии оборудования для нанесения низкотемпературных планаризирующих покрытий типа SOG, БФСС или пленок ФСС с высоким содержанием фосфора в слое (~18 %) проблемы, связанные с планаризацией, приходилось решать другими способами.

В ходе работы были опробованы два способа планаризации: метод "взрывной" фотолитографии и планаризация посредством химико-механической полировки (ХМП). В обоих случаях планаризация может осуществляться на каждом этапе формирования рельефа после нанесения любого уровня коммутации. Суть "взрывной" фотолитографии заключалась в следующем: на пластину с рельефом, выделенном посредством фотолитографии, не снимая резиста, наносился слой низкотемпературного пиролитического окисла толщиной, равной высоте рельефа. Затем фоторезист стравливался — "взрывался", унося с собой пленку  $\text{SiO}_2$ , лежащую на выпуклой части рельефа. Такой способ планаризации обеспечивал исключительную планарность рельефа, однако по периметру коммутации оставалась канавка шириной ~0,5—0,8 мкм и глубиной, равной ~2/3 высоты

рельефа, что впоследствии могло привести к разрыву коммутации верхнего уровня.

Как правило, планаризация посредством ХМП проводилась на заключительном этапе изготовления мультиплексора. После формирования ИСОП на поверхность пластины наносился 0,4-мкм слой пиролитического окисла, вскрывались контактные окна, и пластина передавалась на измерения. На тестируемую пластину методом плазмохимического осаждения наносился толстый слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ( $h = 2,8$  мкм) и осуществлялась ХМП. В качестве полировальника использовали замшу, а в качестве абразива — мелкий порошок окиси циркония ( $\varnothing < 0,05$  мкм), взвешенный в слабом щелочном растворе. В результате ХМП неоднородность рельефа уменьшалась с 1,7 до 0,4 мкм.

По данной технологии было изготовлено несколько партий мультиплексоров. Измерение образцов осуществлялось при напряжении 8—10 В. Все тестируемые мультиплексоры демонстрировали двухмерный характер видеосигнала и по основным параметрам соответствовали предъявляемым требованиям. Сопротивление МОП-ключей в открытом состоянии составляло величину 0,5—0,8 кОм, в закрытом — более 1 ГОм. Схема позволяла корректировать темновое сопротивление МБ в пределах  $\pm 30$  %. Сравнительно большая дефектность мультиплексоров (от 5 до 50 дефектных ячеек) связана с недостаточно хорошими условиями производства и неотработанностью ряда процессов, необходимых для реализации технологии трехуровневой коммутации.

*Авторы выражают благодарность  
В. М. Юнгерману за разработку и проведение  
измерений мультиплексоров.*

*Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.*

## **System of metallization of CMOS multiplexers for the microbolometers 160×120 focal plan arrau**

*G. P. Bondareva, V. K. Borisov, E. A. Klimanov*  
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

*In this paper is adduced investigation of dielectrical isolation between levels metallization in CMOS multiplexers for microbolometers format 160x120. Planarisation multiplexer's surface and parameters producing multiplexers are described.*