

Государственный комитет РСФСР  
по делам науки и высшей школы

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОТОЛИТОГРАФИИ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ МИКРОСЪЕМК

Методические указания  
к лабораторной работе

Самара 1991

Составители: В.К.Буянов, А.Ю.Самсонов, М.Н.Пиганов

УДК 621.382

Исследование процессов фотолитографии при изготовлении толстопленочных микросборок:Метод.указ.ч лаборатор.работе /Кузбывшев.авиационн-т;Сост.В.К.Буянов,А.Ю.Самсонов,М.Н.Пиганов. Самара, 1991. 12 с.

Предлагаются методы изучения и практического освоения методики изготовления пассивных элементов гибких интегральных схем фотолитографическим методом. Исследуется точность изготовления размеров пассивных пленочных элементов.

Рекомендуются студентам специальности 23.03. Составлены на кафедре "Микроэлектроника и технология РЭА".

Принято по решению редакционно-издательского совета Кузбывшевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П.Королева

Год издания 1991

Ц е л ь р а б о т ы - изучение технологии изготовления элементов гибридных интегральных микросхем методом фотолитографии.

### З а д а н и е:

1. Изучить структуру и основные операции фотолитографического процесса.

2. Изучить технологическое оборудование.

3. Изготовить тестплату с использованием светочувствительной пасты (руководствуясь ТУЮ7-87).

4. Исследовать точность изготовления размеров пассивных элементов.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

### Основы толстопленочной технологии

Толстопленочная технология - это технологии пассивных элементов гибридных интегральных схем (ГИС) на основе пленок толщиной 1... 100 мкм. В таких схемах резисторы, конденсаторы, проводники и контактные площадки выполняются в виде толстых пленок, полученных путем нанесения через трафарет и последующего вжигания соответствующих материалов на керамические подложки. Активные элементы - диоды, транзисторы и отдельные функциональные блоки в виде некорпусированных интегральных схем (чипов) - контактируются с пассивными элементами посредством того или иного технологического приема.

С использованием толстых пленок начинается свои первые шаги микроэлектроника. Однако такие недостатки, как низкая чистота состава и недостаточно высокая прецизионность линий, сыграли отрицательную роль на определенном этапе развития микроэлектроники, и толстопленочные ГИС вытесняют тонкопленочные, а в начале 60-х годов полупроводниковые интегральные схемы (ИС). В дальнейшем выявились некоторые не-

достатки производства монокристаллических ИС и ГИС на основе тонких пленок. Это, прежде всего, высокая стоимость, обусловленная применением дорогостоящего оборудования, привлечением высококвалифицированных кадров, значительной продолжительностью производственного цикла; невозможность получения по полупроводниковой технологии прецизионных резисторов и конденсаторов. Названные недостатки полупроводниковых ИС и тонкопленочных ГИС, а также достоинства толстых пленок, такие как способность рассеивать высокие энергии (что позволяет разрабатывать мощные схемы), относительно большая толщина пленок (позволяет избежать вредных наводок и больших паразитных емкостей), простота технологии, удобная для создания многослойной разводки; высокая надежность элементов с хорошими характеристиками заставили заняться совершенствованием технологии и расширением производства ГИС на толстых пленках. Таким образом, в настоящее время ни одна из технологий – тонкопленочная, толстопленочная или полупроводниковая – не имеют явного преимущества. При решении конструкторско-технологических вопросов, связанных с производством и изготовлением ИС, должны учитываться следующие факторы:

величина рассеиваемой мощности;

диапазон частот;

стоимость;

температурный коэффициент сопротивления (ТКС) и требования к точности изготовления элементов;

количество однотипных схем и номиналов компонент.

#### Фотолитографическая обработка толстых пленок

Процесс фотолитографии в микросэлектронике применяется не только для изготовления полупроводниковых микросхем и тонкопленочных ГИС, но и в толстопленочной технологии. Рисунок микросхем в толстопленочных электронных изделиях формируют как методом трафаретной печати, так и фотолитографической обработкой. Фотолитография применяется как для обработки заранее нанесенных сплошных пленок с высокой точностью и без ограничения по конфигурации, так и при селективном (трафаретном) методе получения рисунка с использованием фоточувствительных материалов (паст).

При сплошном нанесении пленок на подложку различают три метода фотолитографии: селективное травление, с использованием обратной фото-

резистивной или металлической масок. При селективном травлении проводятся операции: нанесение сплошной пленки обрабатываемого материала; нанесение, экспонирование и проявление фоторезиста в виде заданного рисунка; травление пленки материала через окна в фоторезистивной маске и промывка; удаление фоторезистивной маски.

Метод обратной фоторезистивной маски сводится к следующему. На свободную подложку наносят, экспонируют и проявляют фоторезист. При этом необходимо получить инверсный узор из фоторезиста. На фоторезистивную маску и окна в ней наносят сплошную пленку материала, а затем растворяют фоторезистивную маску. В результате вместе с фоторезистивной маской от подложки отделяется инверсный узор пленки материала, оставляя соответствующий рисунок в окнах. В данном случае фоторезистивную маску нельзя применять при значительном нагреве подложки, т.к. происходит дополнительная полимеризация фоторезиста, затрудняющая его растворение.

Сущность фотолитографической обработки заключается в создании на поверхности плат защитного или рабочего рельефа требуемой кондиции. Для этой цели на подложку наносят слой светочувствительного и стойкого к агрессивным факторам материала — фоторезиста. Затем на слой фоторезиста воздействуют дозой излучения, в основном ультрафиолетового. Между источником излучения и слоем помещают фотошаблон с необходимым рисунком. В результате локального действия излучения свойство резиста изменяется в освещенных участках. Последующая операция проявления превращает скрытое изображение в рельефное за счет удаления части резиста. Таким образом создается требуемая конфигурация необходимых активных областей, контактов, соединений и т.д. При оптической фотолитографии изображение создается двумя методами: проекцией фотошаблона через объектив на поверхность слоя фоторезиста (проекционная фотолитография) и плотным контактным переносом (контактная фотолитография). Метод проекционной фотолитографии обладает высокой разрешающей способностью на поле малого размера. Такой метод применим при изготовлении фотошаблонов, пленочных структур и т.д. Второй метод чаще используется в процессе изготовления полупроводниковых микросхем.

#### Общие сведения о фоторезистах

Фоторезисты являются сложными поликорно-монополярными системами, в которых под действием излучения определенного спектрального состава протекают фотохимические процессы. Фоторезисты, у которых растворимость экспонированного участка уменьшается, называются нега-

тивными фоторезисты, растворимость которых после облучения возрастает, называются позитивными. После проявления экспонированного фоторезиста образуется рельефное изображение, которое должно быть устойчивым к воздействию агрессивных сред (кислот, щелочей и т.д.).

Процессы, лежащие в основе отображения рельефного рисунка, можно разделить на три группы:

1. Фотополимеризация и образование нерастворимых участков.

2. Сшивание линейных полимеров радикалами, образующимися при фотолитизе соединений, позволяет получать кислотостойкие негативные фоторезисты.

3. Фотолит светочувствительных соединений с образованием растворимых веществ, к которым относится большинство позитивных фоторезистов. Облученные участки становятся растворимыми в щелочных составах.

В настоящее время разработано много различных типов фоторезистов, но в основном применяются позитивные фоторезисты в связи с отсутствием ореолов по границам защитного рельефа. При выборе негативного или позитивного резиста большое значение придать не только разрешающей способности, но и кислотно- или щелочестойкости. Позитивные резисты не выдерживают щелочных травителей, негативные же фоторезисты устойчивы к воздействию кислот и щелочей. Из серийно выпускаемых фоторезистов рекомендуется использовать для фотолитографии по оксиду и алюминию ФП-383, а для фотолитографии по силикатным стеклам ФР-ПН-7.

### Технология производства фотошаблона

Фотошаблон - образец, несущий информацию о конфигурации, размерах и взаимоположении элементов того или иного слоя ИМС. Фотошаблон может быть изготовлен из любого непрозрачного для ультрафиолетового (УФ) излучения материала, в котором можно было бы реализовать прозрачные участки в соответствии с конфигурацией рисунка слоя ИМС. Чаще всего в качестве материала фотошаблона применяют оптическое стекло. Обычно фотошаблон не выдерживает более 20 циклов совмещения, поэтому в настоящее время в качестве оптически плотного слоя применяют не фотоэмульсии, а более износостойкие покрытия (например хром).

Для получения фотошаблонов применяют три метода (или их сочетания):

оптико-механический, объединяющий оригинал малой площади с последовательным мультиплицированием и основанный на применении фотоповторителей;

сканирования, в котором используются модулируемые по длительности или амплитуде световые или электронные пучки;

растровый, осуществляемый с помощью линзовых зеркальных или голографических растровых устройств.

Проблемы, связанные с производством фотошаблонов, определяются рядом специфических особенностей, предъявляемых к ним требованиями, к числу которых относятся:

высокая разрешающая способность;

высокая точность размеров элементов;

высокая степень совмещаемости компонентов фотошаблонов;

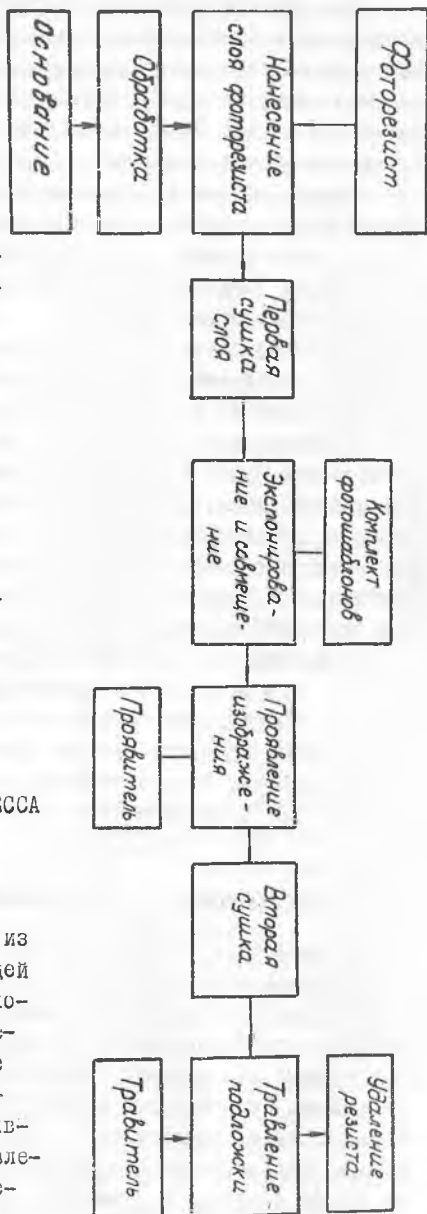
плотность рабочей стороны фотошаблонов, которая не должна превышать 0,5 мкм;

износостойкость и стабильность характеристик во времени.

## ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

### Схема техпроцесса

Процесс фотолитографии состоит из ряда операций, выполняемых в следующей последовательности (рис.): очистка поверхности подложек; нанесение фоторезиста; сушка фоторезиста; совмещение фотошаблона; экспонирование (контактным или проекционным способом); проявление фоторезиста; задубливание; травление материала на незащищенных фоторезистом участках с целью получения рисунка; удаление фоторезиста.



Для очистки подложек применяют газовый, термический, химический и плазмохимический методы. Нанесение слоя резиста на подложку чаще всего осуществляется центрифугированием в течение 20...30 с. В последнее время уделяется все больше внимания методам полива, окуна- ния и др. Первая сушка заканчивает формирование слоя фоторезиста. Для сушки используют термостаты, ИК-установки и СВЧ-печи.

Дальнейшее экспонирование и проявление неразрывно связаны между собой. В силу этого для выбора режимов, обеспечивающих точную пере- дачу размеров, необходимо измерять время проявления и экспонирования. Современные установки для экспонирования и совмещения представляют собой сложные оптико-механические комплексы, в которых погрешность совмещения не более 0,5 мкм. Проявление негативных резистов является процессом удаления неэкспонированных участков в органическом раство- рителе: толуоле, трихлорэтилене и др. Для проявления позитивных ре- зисторов используют водные щелочные растворы в органические щелочи. Последующая сушка (задубливание) проявленного слоя производится при температуре 120...180°C. От времени выдержки и подъема температуры во время сушки зависит точность передачи размеров изображения, адге- зия и кислотостойкость. Травление с защитным рельефом из резиста при- менительно к подложкам различного типа требует, как правило, в каж- дом отдельном случае конкретных травителей и специальных режимов.

В заключение процесса фотолитографии проводится удаление фото- резиста, что имеет очень важное значение, так как от этого зависит качество последующих технологических операций. В настоящее время используются следующие методы удаления фоторезиста: деструкция поли- мера, обработка в органических растворителях; плазмохимическая, тер- мическая или фототермическая обработка.

### Метод фотолитографии с последующим вжиганием

Современные микроэлектронные устройства требуют использования сложных рисунков, превышающих пределы (75 мкм) обычной трафаретной печати. Был предложен метод формирования рисунка микросхемы с исполь- зованием фотолитографии и последующего вжигания, обеспечивающий бо- лее высокую разрешающую способность. Сущность метода заключается в следующем. Подложки покрывают тонким слоем органической фоточувстви- тельной смолы, которая затем подвергается воздействию ультрафиолето- вого излучения через позитивный фотосаблон. После облучения частично на пленке образуется сетчатая структура, и эта часть пленки стано-



вится невосприимчивой к частицам порошка. Затем твердый порошок металлических проводников наносят на неэкспонированную часть светочувствительной пленки. Процесс завершается вжиганием пленок на керамические и металлические эмалированные подложки при высокой температуре с целью удаления труднолетучей части органической смолы и связывания порошкообразных частиц с подложками при спекании и сплавлении. Подложки перед проведением процесса фотолитографии очищают в ультразвуковой ванне с последующим отжигом. Смола для фоторезиста является позитивным светочувствительным органическим полимером. В качестве функциональной фазы используют порошки золота и серебра с содержанием 5% стекла, которое размягчается при  $580^{\circ}\text{C}$ . Эти порошки просеивают через сито для отбора частиц размерами менее 10 мкм. Для нанесения на подложки слоя смолы толщиной приблизительно 5 мкм применяют методы центрифугирования, разбрызгивания, погружения и нанесения роликами. Экспонирование проводят УФ-излучением в течение десятков секунд. Отжиг проводят на воздухе в конвейерной печи, смола при этом полностью выгорает. При более высоких температурах стеклянная связка смешанная с металлическим порошком размягчается, обеспечивая смачивание подложки и спекание металлических частиц в стекловидную матрицу. Проводники на основе золота и серебра подвергаются отжигу при  $600^{\circ}\text{C}$  на подложках из стекла и эмалированного металла и при  $850^{\circ}\text{C}$  — на керамических подложках. Фактическая ширина напечатанных линий и промежутков между ними составляет 40...50 мкм.

### Фотополимерные пасты

Разработка специальных светочувствительных паст дает возможность разделить операции нанесения слоя пасты и выполнения рисунка, используя разрешающую способность фоторезистов и обеспечивая формирование рисунка с высоким разрешением. Пасты представляют собой диспергированные частицы металлов и неорганических оксидов в растворителях со светочувствительной основой, относящейся к диасоединениям. После нанесения светочувствительной пасты отпечаток подсушивают для удаления растворителей, затем проводят операцию экспонирования. При экспонировании в ультрафиолетовом свете светочувствительные соединения полимеризуются, проэкспонированные участки становятся нерастворимыми в органических растворителях, применяемых для удаления неэкспонированных участков. Затем следует операция проявления, смывания неэкспонированных участков. После проявления во избежание размягчения экспонированного участка проводится сушка на воздухе. Про-

цесс обработки завершается обжигом проводника на воздухе при высокой температуре (800...900°C).

Примером фоточувствительной пасты может быть серебросодержащая паста серии 1785, имеющая разрешающую способность менее 60 мкм при отличной проводимости ( $\rho_s = 0,005 \text{ Ом/см}$ ) и хорошей способности к пайке.

Достоинства высокочувствительных паст (прежде всего высокая разрешающая способность) делают их перспективными для миниатюризации ГИС. Таким образом, точность рисунка обеспечивается не за счет трафаретной печати, а в результате двух дополнительных операций обработки пасты - фотоэкспонирования и проявления, аналогичных операциям обработки фоторезистов при формировании рисунка полупроводниковых и гибридных микросхем.

### Порядок выполнения РАБОТЫ

1. Изготовить тест-плату, используя фотополимерную пасту 1785. Оборудование и режимы обработки проводить по ТУ 107-87.

2. Исследовать точность передачи конфигурации рисунка пасты в зависимости от времени экспонирования и времени проявления. Рассчитать абсолютные и относительные отклонения элементов рисунка.

Примечание. Точность размеров определяется по абсолютным и относительным отклонениям размера элемента от номинального значения:

$$\Delta l = l - l_0; \quad \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_0 - l}{l},$$

где  $l$  - полученный размер,  $l_0$  - номинальный размер.

3. Сравнить разрешающие способности при сеткографии и фотолитографическом методе.

4. Оформить отчет.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема технологического процесса получения текст-платы с использованием фотополимерной пасты 1785.

2. Изготовить плату с учетом различных режимов экспонирования и времени проявления.

3. Рассчитать отклонения размеров элементов.

4. Построить графики зависимости отклонения размеров платы от времени экспонирования и проявления.
5. Определить оптимальные временные характеристики экспонирования и проявления.
6. Указать достоинства и недостатки данной технологии.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы получения рисунка толстых пленок вы знаете?
2. Достоинства и недостатки толстопленочной технологии.
3. Достоинства и недостатки фотолитографического метода при толстопленочной технологии.
4. Какие разновидности фотолитографической обработки толстых пленок вы знаете? Дайте им краткую характеристику.
5. Последовательность операций при фотолитографическом процессе.
6. Что такое фоторезист?
7. Что такое фотошаблон?
8. Фотополимерные пасты: достоинства и недостатки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОТОЛИТОГРАФИИ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ МИКРОСБОРОК

Составители: Б у я н о в Виктор Константинович,  
С а м с о н о в Алексей Юрьевич,  
П и г а н о в Михаил Николаевич

Редактор Е.Д.А н т о н о в а  
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к  
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Подписано в печать 3.04.91 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/16.  
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл.п.л.0,7.  
Усл.кр.-отт. 0,8. Уч.-изд.л. 0,6. Тираж 300 экз.  
Заказ № 1773. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П.Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Тип. им.В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического  
объединения. 443099 Самара, ул. Венцека, 60.