

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

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

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАССИВНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ГИС МЕТОДОМ ФОТОЛИТОГРАФИИ

Методические указания к лабораторной работе 35

Куйбышев 1982

УДК 621.382.049:655.226.4

Предлагаются методы изучения и практического освоения основных операций фотолитографического процесса получения рисунка пассивных элементов ГИС. Исследуется точность изготовления размеров пассивных пленочных элементов.

Рекомендуется студентам специальности 0705 при изучении курса "Конструкции и технология микросхем".

Утверждены редакционно-издательским советом института 16.12.81 г.

Составители: Василий Дмитриевич Дмитриев,
Алексей Васильевич Волков

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАССИВНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ГИС МЕТОДОМ ФОТОЛИТОГРАФИИ

Методические указания к лабораторной работе 35

Редактор Л. С о к о л о в а
Техн. редактор Н. К а л е н ю к
Корректор Н. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 14.12.82 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага оберточная белая. Оперативная печать.

Усл.п.л. 1,16. Уч.-изд.л. 0,8. Тираж 300 экз.

Заказ № 2 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Офсетный участок КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.

Ц е л ь р а б о т ы: изучение и практическое освоение основных операций фотолитографического процесса получения рисунка пассивных элементов ГИС.

З а д а н и я:

1. Изучить структуру и основные операции фотолитографического процесса получения рисунка пленочных элементов ГИС.
2. Изучить оборудование для фотолитографического процесса.
3. Изучить методику оценки качества рисунков элементов при фотолитографическом методе изготовления.
4. Изготовить пленочные элементы методом фотолитографии.
5. Исследовать точность изготовления размеров пассивных пленочных элементов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Сущность процесса фотолитографии

Ф о т о л и т о г р а ф и я - совокупность фотохимических процессов, применяющихся для получения необходимых размеров и конфигураций компонентов интегральных микросхем и прочих электронных микроузлов.

Сущность процесса фотолитографии заключается в следующем.

На поверхность материала наносят слой особого светочувствительного состава - фоторезиста. **Ф о т о р е з и с т ы** - светочувствительные и устойчивые к воздействию агрессивных сред (кислот, щелочей) вещества, предназначенные для создания защитного рельефа требуемой конфигурации от последующего воздействия химических, физических, электрохимических и прочих агрессивных сред. Защитный рельеф образуется в результате того, что под действием света, падающего на определенные участки фоторезистивного слоя, последние изменяют свои физико-химические свойства.

В зависимости от механизма протекающих в фоторезисте реакций, особенностей, и изменения его свойств фоторезисты делят на негативные и позитивные. При облучении **н е г а т и в н о г о ф о т о р е з и с т а** через фотшаблон (позитив) в нем протекают процессы, приводящие к потере растворимости, в результате чего

после обработки в соответствующих растворителях (проявителях) удаляются только необлученные участки, расположенные под непрозрачными элементами фотшаблона, и на подложке образуется защитный рельеф, повторяющий негативное изображение фотшаблона.

В п о з и т и в н ы х ф о т о р э з и с т а х под действием света протекают фотохимические реакции, приводящие, наоборот, к усилению растворимости в соответствующих проявителях, в результате чего удаляются (вымываются) только облученные участки фоторезиста и защитный рельеф повторяет позитивное изображение фотшаблона.

К основным достоинствам фотолитографического процесса следует отнести:

возможность получения пленочных и объемных компонентов ИМС весьма малых размеров (до долей мкм) практически любой конфигурации;

универсальность метода (изготовление трафаретов для напыления пленок и сеткографии, селективное травление пленочных слоев, вытравливание "окон" в окисных пленках для локальной диффузии, эпитаксии и имплантации, глубинное травление в полупроводниковых и диэлектрических подложках и т.д.);

возможность применения групповой технологии (за одну операцию и на одном виде оборудования - получение сотен и тысяч элементов ИМС и приборов).

1.2. Физико-химические основы фотолитографических процессов

В основе процессов, используемых в фотолитографии, лежит фотохимическое действие света на вещество.

Свет является одним из видов лучистой энергии и представляет собой поток фотонов (квантов) лучистой энергии. Энергия кванта

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda_m} \quad (1)$$

где h - постоянная Планка; ν - частота колебаний электромагнитного поля, создаваемого движением фотона; c - скорость света; λ_m - длина электромагнитной волны.

Световая энергия поглощается молекулами (или атомами) вещества, при этом увеличивается запас их внутренней энергии.

Процессы, протекающие при экспонировании вещества, разделяют на три группы:

1 - фотополимеризация и образование нерастворимых участков; наиболее типичными для системы, в которой используется этот процесс, являются негативные фоторезисты - эфиры коричной кислоты и поливинилового спирта;

2 - сшивание линейных полимеров радикалами, образующимися при фотолизе светочувствительных соединений; использование каучуков с добавками светочувствительных веществ, таких, например, как бисазиды, дает возможность получить исключительно кислотостойкие негативные фоторезисты;

3 - фотолиз светочувствительных соединений с образованием растворимых веществ. Примером служит большинство позитивных фоторезистов, в которых фотолиз соединений, называемых нафтохинондиазидами (НХД), приводит к тому, что облученные участки становятся растворимыми в щелочных составах.

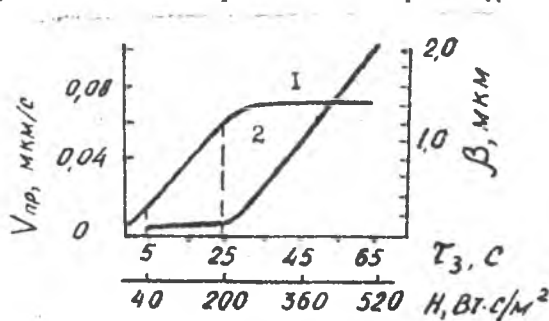
2. ФОТОРЕЗИСТЫ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Фоторезисты являются сложными композициями органических веществ. Фотохимические реакции, происходящие в фоторезистах при их облучении, проходят по сложному механизму. Чаще всего в фотохимических процессах, протекающих в фоторезистах, главную роль играют реакции фотолиза и фотополимеризации. Облучение некоторых фоторезистов ультрафиолетовым светом приводит к их полимеризации, в результате чего они становятся нерастворимыми в органических растворителях или же растворимыми в других (например, водных) проявителях. Используемые проявители должны обладать максимальной избирательностью.

Для осуществления фотохимических процессов в фоторезистивных материалах применяют обычно ультрафиолетовое (УФ) излучение. Поскольку в естественном свете содержание УФ лучей сравнительно невелико, то для более интенсивного протекания фотохимических процессов применяют искусственные источники УФ облучения. Поглощение УФ облучения органическими молекулами протекает селективно, т.е. для различных веществ поглощение наблюдается на вполне определенной длине волны УФ диапазона.

Фоторезист - это многокомпонентная система, состоящая из полимерной основы и различных добавок, обеспечивающих, в первую очередь, повышение светочувствительности полимеров, а также такие важные качества, как кислотостойкость, вязкость, смазывание и др.

В точной фотолитографии предпочитают использовать позитивные ФР в связи с отсутствием ореолов по границам защитного рельефа. Позитивные ФР проявляются в растворах с основными свойствами (в качестве проявителя часто используется водный раствор тринатрийфосфата). Помимо разрушенных молекул НХД проявитель должен растворять и полимер, поэтому с целью снижения числа дефектов на незасвеченных участках желательна время воздействия проявителя на слой фоторезиста иметь минимальными. Для этого необходимо работать на нижнем пределе экспонирования, который определяется условием достижения максимальной скорости проявления экспонированных участков по экспериментальным кривым (рис. 1)



$V_{пр} = h_{сл} / t_{пр}$,
 где $t_{пр}$ - время полного растворения слоя толщиной $h_{сл}$, получившего дозу излучения $H = E \tau_z$;
 E - плотность светового потока, Вт/м² ;
 τ_z - время экспозиции, с.

Р и с. 1. Характеристическая кривая и погрешность в воспроизведённый размеров элементов после проявления:
 1 - зависимость скорости проявления от экспозиции, 2 - зависимость погрешности от экспозиции

2.1. Основные требования к фоторезистам

Высокая степень чувствительности. Наибольшее распространение для оценки этой характеристики получила величина, обратно пропорциональная количеству поглощенной световой энергии, требуемой для получения в слое фоторезиста определенного

фотохимического эффекта, который состоит в потере негативной или приобретении позитивной растворимости облученных участков ФР.

Светочувствительность в этом случае записывают $S = 1/H$.

Высокая разрешающая способность. Под разрешающей способностью ФР понимают максимально возможное число раздельно передаваемых линий защитного рельефа на 1 мм поверхности подложки

$$R = 1000/2b,$$

где R — разрешающая способность линий, мм;

b — ширина раздельно передаваемой линии, мкм.

Устойчивость к химическому воздействию. ФР должен обладать высокой устойчивостью к воздействию кислот и щелочей, так как в процессе травления защитный рельеф значительное время (до нескольких минут) контактирует с концентрированными кислотами и щелочами. Кислотостойкость ФР во многом определяется химическим составом его полимерной основы.

Равномерность фоторезистивного покрытия. Различают равномерность ФР покрытия на отдельно взятой подложке (градиентная погрешность) и воспроизводимость покрытия от подложки к подложке. Равномерность ФР слоя в первую очередь зависит от метода и условий формирования слоя и определяется также физико-химическими свойствами ФР.

3. ФОТОШАБЛОНЫ. ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

Фотошаблон — образец (шаблон), несущий информацию о конфигурации, размерах и взаиморасположении элементов того или иного слоя ИМС. Этот образец является необходимым инструментом практически в любом применении фотолитографии.

В принципе фотошаблон может быть изготовлен из любого непрозрачного для УФ излучения материала, в котором можно было бы реализовать прозрачные участки в соответствии с конфигурацией требуемого рисунка слоя ИМС. Однако в виду специфических особенностей и требований к фотошаблонам чаще всего в качестве последних применяют пластины из оптического стекла с расположенными на его поверхности непрозрачными (оптически плотными) элементами,

получаемыми фотолитографическим или иным способом.

Технология изготовления фотшаблонов является одним из наиболее сложных процессов в микроэлектронике, и такие технико-экономические показатели в производстве ИМС, как процент выхода годных изделий, производительность, стоимость, сроки от разработки до перехода к серийному производству и т.д., во многом определяются качеством фотшаблонов, трудоемкостью и стоимостью их проектирования и изготовления.

Проблемы, связанные с производством фотшаблонов, определяются рядом специфических особенностей и предъявляемыми к ним требованиями, к которым относятся:

Высокая разрешающая способность.

В настоящее время используются фотшаблоны с минимальными размерами элементов рисунка — до единиц и десятых долей микрометра.

Большое количество элементов изображения на рабочем поле фотшаблона, достигающее в зависимости от типа ИМС от десятков до десятков тысяч элементов на рабочих полях.

Высокие фотографические характеристики. Фотографические характеристики фотоэмульсионных материалов определяют обычно по характеристической кривой, выражающей зависимость оптической плотности D от логарифма экспозиции H .

С точки зрения получения качественных фотшаблонов фотографические характеристики должны быть достаточно высокими.

Высокая точность размеров элементов и расстояния между ними.

Высокая степень совмещаемости (доли микрометра) комплектов фотшаблонов, предназначенных для многослойных структур в ИМС.

Высокое качество оптически плотного покрытия. Качество покрытия зависит от наличия дефектов (царапин, вырывов и т.д.) на непрозрачных участках.

Полное отсутствие дефектов, особенно в сложных и больших по площади фотшаблонах, получить очень трудно. Поэтому обычно качество фотшаблона оценивают допустимым количеством дефектов, которое

для высококачественных образцов составляет около 1%.

Плоскостность рабочей стороны фотошаблона, которая не должна превышать порядка 0,5 мкм.

Стабильность характеристик фотошаблонов и их износостойкость во времени.

Обычно комплект эмульсионных фотошаблонов не выдерживает более 15-20 циклов совмещений. В связи с этим широко применяются фотошаблоны, использующие в качестве оптически плотного слоя не фотоэмульсии, а более износостойкие покрытия (например, хром).

Сравнительно недавно разработан новый метод изготовления "прозрачных" фотошаблонов, изготавливаемых из специального красителя и обеспечивающих вдвое большее разрешение, чем эмульсионные.

4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФОТОЛИТОГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Качество фотолитографического процесса оценивается тремя параметрами:

1 - точностью передачи размеров, которую оценивают абсолютным или относительным отклонением размера элемента от номинального значения

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

где l - полученный размер, l_0 - номинальный размер.

2 - точностью совмещения, которая оценивается количественно разностью

$$\delta = Z_0 - Z,$$

где Z_0 и Z - заданный и воспроизведенный зазор между элементами специально помещенной на ГИС отметки совмещения (элементы отметки выполняются в разных слоях ГИС).

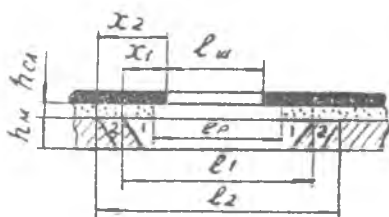
Точность совмещения в основном зависит от используемых установок для совмещения, геометрии меток совмещения и квалификации работников.

3 - плотностью опасных дефектов - λ , см².

Чаще всего это дефекты фотошаблона или попадания пыли между

слоем ФР и фотошаблоном. Дефекты могут быть также следствием посторонних включений или механических напряжений в слое ФР, физико-химических несовершенств ФР, (включения нерастворимых полимеров, остатки продуктов, используемых при синтезе ФР; участки ФР с разложившимися молекулами светочувствительных составляющих и др.). Очевидно, что с увеличением толщины слоя ФР вероятность превращения потенциального дефекта в связи с его малыми размерами в реальный уменьшается. Однако с ростом толщины $h_{\text{сл}}$ ухудшается точность передачи размера и разрешающая способность; приближенно считается, что $h_{\text{сл}}$ должно быть $< 0,3 + 0,2 l_{\text{мин}}$.

Точность передачи размеров рисунка складывается из точности получения ФР маски и протекания процесса травления (рис. 2). Воспроизведение размеров защитного слоя зависит от многих факторов: типа ФР, толщины его слоя, экспозиции, условий проявления, основным из которых является правильный выбор экспозиции $H = E \tau_2$.



Р и с. 2. Определение точности передачи рисунка: 1 - при правильно выбранном времени травления, где l_m - размер на фотошаблоне, l_p - размер на слое фоторезиста; 2 - при большом времени травления

При недостаточной экспозиции время проявления будет большим (или может быть даже не полное удаление слоя ФР), при больших экспозициях за счет боковой засветки размер окна в слое ФР (см. рис. 2) будет значительно превышать размер на фотошаблоне. Процесс травления при неправильно выбранных режимах (концентрация раствора, температура, время травления) может также внести значительный вклад в отклонения размеров элементов. Действие химических травителей является ненаправленным, поэтому наряду с травлением толщины рабочей пленки происходит боковое растравливание под защитным слоем ФР. Количественно боковое (краевое) растравливание оценивается величиной x , которую называют шириной клина расщепления или коэффициентом травления $K = x/h_m$ (где h_m - толщина рабочей пленки).

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изготовить пассивные элементы пленочной микросхемы методом фотолитографии согласно таблице. Произвести процесс фотолитографии для четырех значений экспозиции, изменяя время экспозиции.

2. Исследовать точность передачи размеров пассивных элементов пленочной схемы на слое фоторезиста (после проявления и термообработки) и на пленке меди (после травления) в зависимости от времени экспонирования. Рассчитать абсолютные и относительные отклонения размеров элементов.

П р и м е ч а н и е. Произвести измерения с помощью микроскопа размеров элементов ζ в нескольких местах (с определенным шагом) на фотосаблоне, фоторезистном слое и пленочном элементе.

3. Оформить отчет.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема технологического процесса получения рисунка ИС методом прямой фотолитографии с хронометражом операций, рассчитать длительность технологического цикла;

2. Результаты замеров различных пленочных элементов и защитного рельефа, а также результаты расчетов точности передачи рисунка в виде таблицы;

3. Построить графики точности передачи рисунка на слое ФР и на пленке в зависимости от времени экспонирования;

4. Объяснить ход полученных зависимостей и определить оптимальное время экспонирования для условий проведения опыта;

5. Указать на "узкие" места фотолитографического процесса.

Контрольные вопросы

1. Какие методы получения рисунка тонких пленок вы знаете?
2. Что такое фоторезист?
3. Какова последовательность операций при прямой фотолитографии?
4. В чем различие позитивного и негативного ФР?

Т а б л и ц а

Получение рисунка схемы плечочных элементов методом
фотолиитографии

Номер операции	Номер пере-хода	Операции и переходы	Оборудова-ние, прис-пособления, инструмент	Материалы	Режимы темпе-ратура, С	Дополнительные указа-ния	
						время мин	
1	2	3	4	5	6	7	8

1 Нанесение фоторезиста на рабочую поверхность подложки

1. Закрепить подложку

установка

для нане-

сения фото-

резиста

Кисть ко-

лонковая

Пипетка,

оекундомер

Фоторезист

ФП-383

2 Удалить пыль с по-

верхности подложки

3. Нанести фоторезист

2-ю, 1 фоторезист ФП-383 нане-

сить на подложку мето-

дом полива при враще-

нии ротора центрифуги

со скоростью (об/мин):

для резистивных слоев

2000; для проводнико-

вых слоев - от 600 до 800

Продолжение таблицы

I	2	3	4	5	6	7	8
4	Проверить визуально качество нанесенного слоя	-	-	-	-	-	Слой должен быть равномерным, глянцевым, однородным, без пузырей и инородных включений
II	Сухка фоторезиста	-	-	-	-	-	-
I.	Сухить подложку с нанесенным слоем фоторезиста	Шкаф сушильный, пластина для сушки цеховая, чаша сикнальные	-	-	100-110	10	Подложки для сушки положить на пластины и поместить в сушильный шкаф
2.	Охлаждать подложку в ватманном экспикаторе	Экспикатор	-	-	-	6-8	-
III	Экспонирование	-	-	-	-	-	-
I.	Поместить подложку с нанесенным слоем фоторезиста на столки устанавки и наложить фотослаблон	Установка сор-мешения и экспонирования, фотослаблон	-	-	-	-	-
2.	Пронести экспонирование	-	-	-	-	-	Точное время экспонирования определять опытным путем

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
IV	Проявление изображения схемы	-	-	-	-	-	-
I.	Проявить изображение	Чашки форо- вые, кд- вега эмали- розовые	Натрий фос- форнокислый гидрозамещен- ный, глице- рин, вода дистиллиро- ванная, то- луол	20±2	1,5±0,5	Подложку с нанесенным слоем фоторезиста ФД- 383 поместить в фарфо- ровую чашку с раство- ром проявителя и при непрерывном помачива- нии чашки следить за проявлением изображе- ния	5-10 2-3
2.	Промыть подложку в прогочной воде	Клевета эма- лированная					
3.	Сушить подложку	Вентилятор					Сушить до полного вы- сыхания
4.	Произвести контроль изображения	Микроскоп					Изображение должно быть четким, с ровными краями, без разрывов. Некачественное изобра- жение рисунка на фото- резисте ФД-383 смывать диоксаном, подложку

Продолжение таблицы

	1	2	3	4	5	6	7	8
У	Термообработка	-	-	-	-	-	-	промывать, просушить и использовать для повторной печати.
У	1. Поместить подложку на пластине с непечатанной схемой в сушильный шкаф для сушильной цеховой	Шкаф сушильный, пластинка для сушильной цеховой	-	-	-	100±10	10	Для сушилки фоторезиста ФП-383
У	2. Поместить подложку в сушильный шкаф	То же	-	-	-	150±10	15	Пластины извлечь из сушильного шкафа с температурой 100°C и поместить в сушильный шкаф с температурой 150°C
У1	1. Контроль	-	-	-	-	-	-	-
У	1. Проверить качество фоторезистивного слоя	Микроскоп	-	-	-	-	-	Слой должен быть равномерным, глянцевым, однородным, без пузырей и отслоений
У	Полученно рисунок схемы на фоторезисте	-	-	-	-	-	-	Производить в соответствии с описанным технологическим процессом
П	Травление резистивного слоя	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Стравить напыленный разливный слой с незакрепленных фоторе- зистом участков	Чашка фарфо- ровая, плит- ка электричес- кая, секундо- мер, проволо- ка алюминие- вая	-	-	-	-	Режимы для травления хрома. Травление производится при касании поверхности хрома всплывающей проволокой. Режимы для травления ни- хрома
2.	Промыть подложку проточной водой	Секундомер, кювета эма- лированная	-	20±2	2-3		
3.	Снять фоторезист	Кювета эма- лированная, нагр едкий	-	20±2	-		Удаление фоторезиста про- изводить путем погружения в 20-процентный раствор едкого натра. Допускается удаление фоторезиста в смеси дихромна с лимети- формамидом 1:1 при кипяче- нии
4.	Промыть подложку проточной водой	Кювета эмали- рованная, се- кундомер	-	20±2	2-3		
5.	Сушить подложку	Вентилятор	-	-	-		Сушить до полного высыха- ния

Продолжение таблицы

	1	2	3	4	5	6	7	8
III			Контроль	-	-	-	-	-
			Проверить качество элементов схемы	Микроскоп	-	-	-	На элементах не допускаются раковины, вырывы, выступы по краям; на поверхности и подложки не должно быть металлизированных участков, не предусмотренных чертежом
I			Получение рисунка схемы на фоторезисте	-	-	-	-	Прокачать в соответствующем направлении
II			Защита экранов слоев лака	-	-	-	-	песок
			Нанести на экран слой лака	Кисть белочья	Лак,	-	-	-
			Сушить слой лака	или колонковая Вентилятор, часы	ацетон	-	-	-
2.			Сушить слой лака	Вентилятор, часы	-	-	30	-
			Нанести второй слой лака	Кисть белочья	Лак,	-	-	-
3.			Сушить слой лака	или колонковая Вентилятор	ацетон	-	-	-
4.			Сушить слой лака	Вентилятор	-	-	30	-
III			Травление меди	-	-	-	-	-

	I	2	3	4	5	6	7	8
I	1	2	3	4	5	6	7	8
	1. Стравить медный слой Чашка фар- о незатраченных фото- форовая - - - резистом участков - - - подложки - - -							
	2. Промыть подложку про- Секундомер, - - - квезга эма- 2-3 точной водой лированная - - -							
	3. Сушить подложку Вентилятор - - - Сушить до полного высыха- ния							
IV	Травление подложки - Хром, никель - - - Производить в соответствии с описанным техно- логическим процессом							
У	Удаление фоторезиста - - -							
	1. Удалить фоторезист Чаша фарфо- Диметилфор- - - ровая мамил, диок- сан							
	2. Промыть подложку в Чашка фарфо- - - проточной воде ровая, секундомер - - -							
	3. Сушить подложку Вентилятор - - - Сушить до полного высыхания при комнатной температуре							

Окончание таблицы

	1	2	3	4	5	6	7	8
--	---	---	---	---	---	---	---	---

VI	Контроль	-	-	-	-	-	-	-
	Проверить качество элементов схемы	Микроскоп	-	-	-	-	-	Качество элементов схемы
	элементов схемы							проверить под микроскопом.

5. Каковы критерии оценки фотолитографического процесса?
6. Какие явления вызывает проявление дефектов при фотолитографической обработке?
7. Каково влияние передержки или недодержки при экспонировании на качество получения рисунка ИМС?
8. Как связаны между собой величина экспозиции и время проявления?

Л и т е р а т у р а

1. П р е с с Ф.П. Фотолитография в производстве полупроводниковых приборов. -М.: Энергия, 1968.
2. И в а н о в - Е о и п о в и ч Н.К. Технология микросхем. -М.: Высшая школа, 1972, с.90-95.
3. М а з о л ь Е.З. Планарная технология кремниевых приборов. -М.: Энергия, 1974, с.189-218.
4. Введение в фотолитографию /Под ред. Лаврищева В.П. -М.: Энергия, 1977, с.35-48, с.138-151, с.199-205, с.277-280.