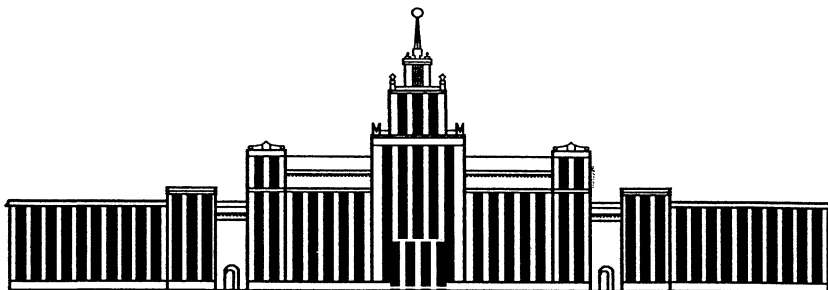

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

621.38 (07)
З-122

Н.С. Забейворота

ОСНОВЫ ЛИТОГРАФИИ

Учебное пособие

Челябинск
2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра физики наноразмерных систем

621.38 (07)
3-122

Н.С. Забейворота

ОСНОВЫ ЛИТОГРАФИИ

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2019

УДК 621.38.002.3(075.8) + 621.382.8(075.8)
3-122

*Одобрено
учебно-методической комиссией
института естественных и точных наук*

*Рецензенты:
Е.А. Беленков, Л.А. Песин*

Забейворота, Н.С.
3-122 Основы литографии: учебное пособие / Н.С. Забейворота– Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – 31 с.

Пособие предназначено для студентов института естественных и точных наук по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника» 11.03.04 и 11.04.04. Оно содержит работы, посвященные основам литографии. Изложены цели работы, основные положения, основы методики выполнения работ, контрольные вопросы к коллоквиуму и список необходимой литературы.

УДК 621.38.002.3(075.8) + 621.382.8(075.8)

© Забейворота Н.С., 2019
© Издательский центр ЮУрГУ, 2019

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТ

1. К выполнению работ допускаются студенты, сдавшие коллоквиум (прошедшие собеседование) по теме выполняемой работы, ответившие на контрольные вопросы.

2. Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями стандарта университета и должен содержать:

- наименование и цель работы;
- технические данные и описание оборудования или установки, их схему;
- полученные в ходе работы результаты;
- основные расчетные формулы, используемые для обработки экспериментальных данных;
- результаты обработки экспериментальных данных, оформленные в виде таблиц, графиков и т.п.;
- выводы по работе, сравнение полученных данных со справочными.

3. Содержание отчета определяется соответствующим разделом конкретной работы.

4. Результаты измерений по ходу работы заносятся в черновик отчета и после выполнения работы предъявляются преподавателю для проверки и утверждения. Черновик отчета вместе с отчетом по работе предъявляются при защите.

5. После завершения работы выключить оборудование, приборы и привести в порядок рабочее место.

6. Работа заканчивается составлением отчета, который подлежит защите перед началом следующей работы. Не защитившие предыдущую работу студенты не допускаются к выполнению следующей работы.

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ

Перед началом цикла работ студент должен пройти общий инструктаж по технике безопасности, а перед каждой выполняемой работой – инструктаж на рабочем месте.

Работы выполняются в присутствии преподавателя или учебного мастера.

При проведении работ необходимо знать:

- включение оборудования, приборов выполняется после разрешения преподавателя или в его присутствии;
- оборудование и приборы необходимо использовать в соответствии с порядком, изложенном в описании.

При появлении видимых неисправностей в работе оборудования, приборов немедленно отключить их и сообщить преподавателю или учебному мастеру.

Студентам запрещается:

- самостоятельно устранять неисправности оборудования, приборов;
- открывать корпуса приборов;
- включать или выключать устройства, приборы, не относящиеся к работе.

РАБОТА №1

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОЧНОГО РЕЗИСТОРА МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ СЕЛЕКТИВНОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ

План коллоквиума

Виды фоторезистов и способы их нанесения. Последовательность нанесения слоев пленочных элементов. Удаление фоторезиста.

Цель работы

Целью работы является изучение методов формирования топологического рисунка проводящих, резистивных и диэлектрических слоев при изготовлении гибридных интегральных микросхем (ИС), а также последовательности операций технологического процесса при применении фотолиитографии.

Работа предусматривает практическое изготовление двух слоев ИС на базе реального технологического процесса фотолиитографии.

Оборудование, приспособления и материалы

Для проведения технологического процесса формирования пленочных элементов с помощью фотолиитографии используется следующее оборудование.

1. Установка для нанесения фоторезиста ПНФ.
2. Установки сушки и полимеризации фоторезиста УСПФ-3.
3. Установка полуавтоматическая совмещения и экспонирования УПСЭ-3.
4. Шкаф вытяжной Ш2ВН.
5. Термостат.
6. Шкаф сушильный.
7. Микроскоп бинокулярный МБС-10.

Приспособления и материалы, используемые в работе:

1. Подложка с напыленными слоями.
2. Пинцет.
3. Фотошаблоны (негативный или позитивный в зависимости от типа применяемого фоторезиста).
4. Кассета для подложек.
5. Кисть колонковая.
6. Чашки Петри.
7. Напальчники.
8. Батист, бязь, марля.
9. Фоторезист в рабочем состоянии.
10. Стаканы стеклянные.
11. Вода дистиллированная.
12. Проявляющий раствор в зависимости от фоторезиста.
13. Травящий раствор.
14. Раствор для снятия фоторезиста.

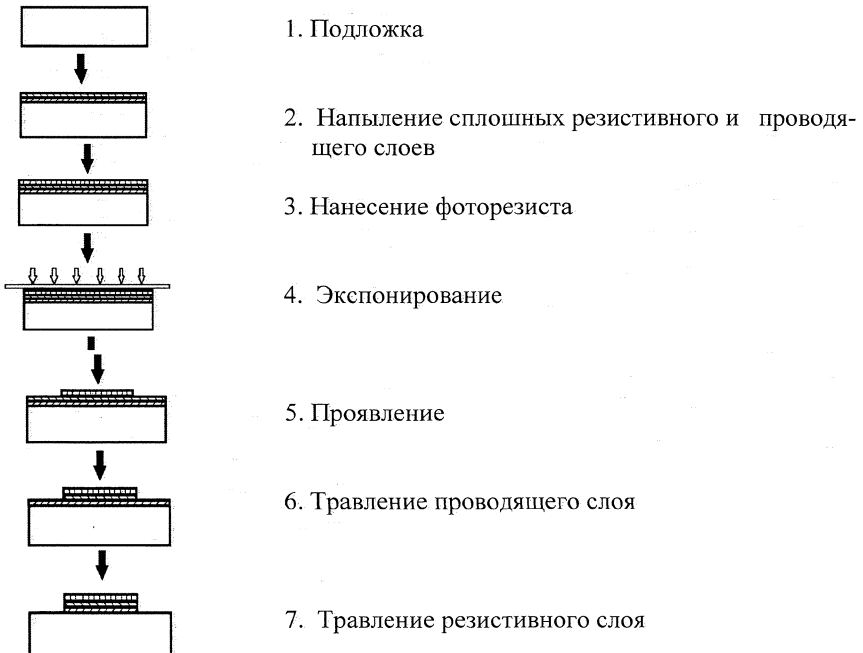
Общее положение

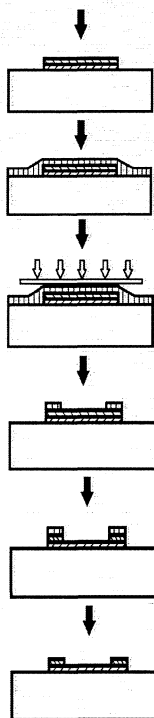
Резистор изготавливается по тонкопленочной технологии, с использованием двойной (селективной) фотолитографии. В первую очередь получают проводники и контактные площадки. Затем фоторезистом покрывают все проводники и площадки, за исключением площадок перекрытия резисторов с проводниками и формируемые резисторы. После травлением резистивного слоя формируют тонкопленочные резисторы.

Метод двойной фотолитографии:

1. На подложку последовательно наносятся резистивная и проводящая плёнки.
2. В первую очередь формируется общий контур как для резисторов, так и для проводников. Травитель должен удалять материалы обеих плёнок.
3. Затем формируются только проводящие элементы. Для этого используются селективные травители, удаляющие проводящую плёнку, но не влияющие на резистивную. Метод двойной фотолитографии называют методом селективного травления.

Технологический маршрут получения резистивного и проводящего элементов методом двойной фотолитографии:





8. Снятие фоторезиста

9. Нанесение фоторезиста

10. Экспонирование

11. Проявление

12. Травление проводящего слоя

13. Снятие фоторезиста

Содержание задания

1. Изучить технологический процесс формирования элементов ИС с помощью фотолитографии:
2. Ознакомиться с рабочим местом, оборудованием и применяемыми материалами;
3. Используя процесс фотолитографии изготовить слои микросхемы на подложке (ситалл или поликор);
4. Оценить качество полученных элементов слоев, рассматривая их под микроскопом, и определить погрешности;
5. Сдать подложку с элементами преподавателю.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с рабочим местом. Получить у учебного мастера хим. посуду, приготовленные растворы, пинцет, напальчники, фотошаблон. **Внимание!** Фотошаблоны оберегайте от загрязнений. Не касайтесь пальцами поверхности фотошаблона. Берите за боковые поверхности
2. Получить у учебного мастера подложку с напыленными слоями

Внимание! Оберегайте поверхность напыленного слоя от загрязнений. Если подложку необходимо взять руками, то берите ее осторожно за боковые поверхности, не касаясь напыленного слоя.

3. Ознакомиться с оборудованием, применяемым в работе.
4. Технологический процесс по изготовлению ИС в прилож. 1.
5. Провести контроль дефектов ИС на подложке под микроскопом, дать анализ причин их появления. Произвести измерения погрешностей элементов.
6. Замаркировать подложку (на матовой стороне) номером группы и фамилиями студентов.
7. Привести рабочее место в порядок, сдать подложку учебному мастеру.
8. Составить отчет.
9. Сделать выводы к работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое фоторезист? Какие виды фоторезиста Вы знаете?
 2. Какие способы нанесения фоторезистов применяют? Их достоинства и недостатки.
 3. Какие факторы определяют величину экспозиции при экспонировании фоторезистивного слоя? Что происходит при экспонировании? Какие требования предъявляют к источникам излучения
 4. В чем заключается процесс проявления фоторезиста? Какие основные требования предъявляются к травителям?
 5. Как удаляется фоторезист после операции травления?
 6. Какова последовательность нанесения слоев пленочных элементов при изготовлении ИС масочным методом:
 - а) содержащие резисторы, проводники и конденсаторы?
 - б) содержащие резисторы, проводники и пересечения пленочных проводников?
 7. Какова последовательность нанесения слоев пленочных элементов при изготовлении ИС фотолитографическим методом:
 - а) содержащие резисторы и проводники?
 - б) проводники и контактные площадки?
 - в) содержащие резисторы с разными сопротивлениями пленки и проводники?
 8. Какова последовательность нанесения слоев пленочных элементов при совмещении масочного и фотолитографического метода для изготовления ИС:
 - а) содержащие резисторы и проводники?
 - б) содержащие резисторы, конденсаторы и проводники?
- Литература: [1, 4]

РАБОТА № 2

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ РЕЗИСТОРА, ИЗГОТОВЛЕННОГО РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

План коллоквиума

Процесс изготовления элементов ИС. Основные погрешности фотолитографии. Причины возникновения погрешностей.

Цель работы

Выполнить экспериментальную оценку характеристик технологического процесса изготовления элементов ИС. Предложить методы по повышению точности технологических процессов, использованных для изготовления исследуемых пленочных элементов.

Оборудование, приспособления и материалы

- 1) платы с пленочными элементами;
- 2) микроскоп измерительный;
- 3) омметр;
- 4) приспособление для установки плат и измерения сопротивления;
- 5) расчетные данные элементов.

Общее положение

Погрешности размеров элементов рисунка микросхемы определяются в значительной степени точностью изготовления фотошаблона.

Следует различать разрешающую способность фоторезистов и процесса фотолитографии в целом, которая оказывается ниже за счет явлений, приводящих к несовершенству краевых участков фотомаски после проявления. К таким явлениям относятся: дифракция, интерференция, рассеяние и отражение света в системе подложка – фоторезист – фотошаблон (рис. 1).

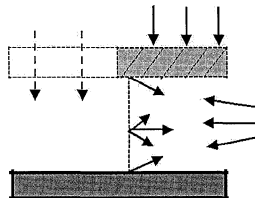


Рис. 1

Для негативных фоторезистов эти явления приводят к появлению так называемого “ореола”, т.е. участков слабо экспонированного фоторезиста, непосредственно прилегающего к подложке (рис. 2).

Разрешающая способность процесса фотолитографии снижается также из-за бокового подтравливания материала подложки под слоем фоторезиста на границах защитного рельефа (рис. 3).

Боковое подтравливание увеличивается при использовании толстых пленок фоторезиста. В процессе электрохимического наращивания проводящего и защитного слоев элементов ИС происходит заметное увеличение размеров этих элементов (см. рис. 3).

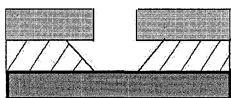


Рис. 2

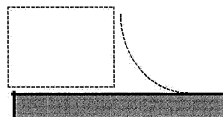


Рис. 3

Операция травления ИС для удаления проводящих пленок с участков, которые были защищены фоторезистивной маской, приводит к небольшому уменьшению среднего размера элементов микросхем.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с рабочим местом, материалами и оборудованием, используемых при выполнении лабораторной работы.

2. Получить у преподавателя платы с пленочными элементами, подлежащими исследованию, и изучить их топологию.

3. Установить плату с пленочными элементами на предметный столик измерительного микроскопа и произвести измерения требуемых координат элементов. При этом необходимо, чтобы визирная линия микроскопа была параллельна базовой и расположена по краю контура элемента так, чтобы площадь, образованная действительной линией контура и визирной линией, была примерно одинаковой с обеих сторон визирной линии (рис. 4).

Измерение проводится для элементов всех плат, заданных преподавателем.

4. Произвести измерения координат точек резисторов прямоугольной формы в соответствии с рис. 5.

Результаты измерений заносятся в табл. 1, где приняты обозначения:

X_i – координата x ;

Y_i – координата y ;

R^p – расчетное значение сопротивления резистора;

$R^э$ – экспериментальное значение сопротивления этого же резистора.

Таблица 1

Номер элемента	X				Y			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
R ₁ ^э								
R ₂ ^э								
R ₁ ^р								
R ₂ ^р								

5. Обработать результаты измерений резисторов прямоугольной формы вычислив значения:

1. Погрешности линейных размеров Δb , Δl ;
2. Погрешности совмещений $\Delta \gamma$;
3. Относительной погрешности сопротивления резисторов γ_R ;
4. Относительной погрешности коэффициента формы γ_{k_f} ;
5. Относительной погрешности сопротивления резисторов, обусловленной наличием сопротивления контактного перехода $\gamma_{\rho_{кп}}$;
6. Величины удельного поверхностного сопротивления резистивной пленки $\rho^{кв}$;
7. Относительной погрешности удельного поверхностного сопротивления $\gamma_{\rho^{кв}}$;
8. Величины удельного сопротивления контактного перехода ρ ;

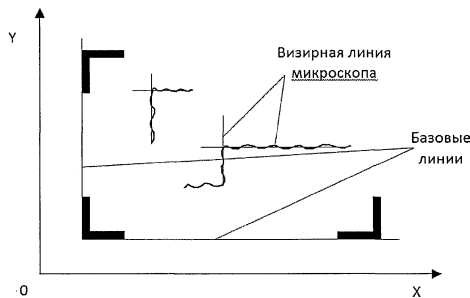


Рис. 4

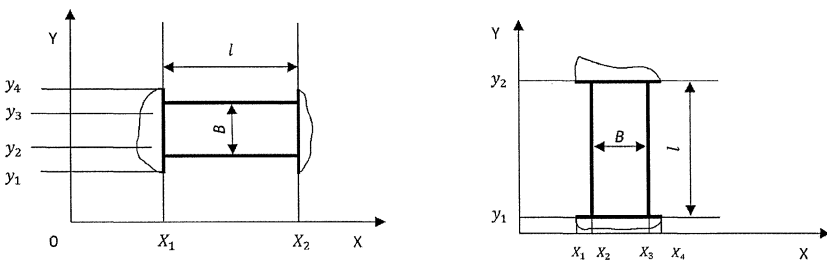


Рис. 5

6. Результаты вычислений занести в табл. 2. Значения параметров вычисляются по формулам, приведенным ниже.

Таблица 2

№ эл	R^p	R^3	γ_R	$\gamma_{k\phi}$	Δb	Δl	ρ^{KB}	$\gamma_{\rho^{KB}}$	$\gamma_{\rho_{кп}}$	$R^{кп}$	ρ
R_1											
R_2											
R_3											
R_4											

Относительная погрешность сопротивления резистора определяется как

$$\gamma_R = |(R^3 - R^p)/R^p|$$

Действительная (экспериментальная) ширина резистора вычисляется по формулам:

$$b_y^3 = y_3 - y_2 \text{ и } b_x^3 = x_3 - x_2$$

для вертикально и горизонтально ориентированных резисторов соответственно.

Действительная длина резистора определяется аналогично:

$$l^3 = y_2 - y_1 \text{ и } l^3 = x_2 - x_1$$

Абсолютные погрешности резисторов Δb и Δl вычисляются по формулам:

$$\Delta b = b^3 - b \text{ и } \Delta l = l^3 - l$$

где b и l – расчетное значение ширины и длины резистора.

Относительная погрешность коэффициента формы

$$\gamma_{k\phi} = \left| \frac{l^3 * b}{l * b^3} - 1 \right|$$

Перечисленные погрешности вычисляются для всех резисторов прямоугольной формы. Для определения остальных характеристик технологического процесса берутся два рядом расположенных резистора и для них определяются величины:

а) отношение

$$\alpha = \frac{R_2^3 * b_2^3}{R_1^3 * b_1^3}$$

где b_1^3 и b_2^3 – действительные значения ширины резисторов;

R_1^3 и R_2^3 – измеренные значения сопротивлений этих же резисторов;

б) суммы двух составляющих погрешностей:

$$\gamma_{\Sigma 1} = \gamma_{R1} - \gamma_{k\phi 1} = \gamma_{\rho^{KB}} + \gamma_{k\phi 1}$$

$$\gamma_{\Sigma 2} = \gamma_{R2} - \gamma_{k\phi 2} = \gamma_{\rho^{KB}} + \gamma_{k\phi 2}$$

в) погрешность удельного поверхностного сопротивления этих резисторов

$$\gamma_{\rho^{KB}} = \frac{\gamma_{\Sigma 1} - \alpha \gamma_{\Sigma 2}}{1 - \alpha}$$

г) погрешности сопротивления резисторов, обусловленные наличием сопротивления контактных переходов:

$$\gamma_{\rho_1^{KB}} = \gamma_{\Sigma 1} - \gamma_{\rho^{KB}} \text{ и } \gamma_{\rho_2^{KB}} = \gamma_{\Sigma 2} - \gamma_{\rho^{KB}}$$

д) сопротивления контактных переходов:

$$R_1^{KP} = \frac{\gamma_{\rho_1^{KB}} * R_1}{2} \text{ и } R_2^{KP} = \frac{\gamma_{\rho_2^{KB}} * R_2}{2}$$

е) сопротивления резисторов без учета значений ρ

$$R_1 = R_1^3 - R_1^{KP} \text{ и } R_2 = R_2^3 - R_2^{KP}$$

ж) удельные поверхностные сопротивления:

$$\rho_1^{KB} = \frac{R_1}{k_{\phi 1}}, \rho_2^{KB} = \frac{R_2}{k_{\phi 2}}, \rho_{12}^{KB} = \frac{p_{KB1} + p_{KB2}}{2}$$

з) удельное сопротивление контактных переходов:

$$\rho_1 = \frac{R_1^{KP2} * b_1^2}{\rho_1^{KB}}; \rho_2 = \frac{R_2^{KP2} * b_2^2}{\rho_2^{KB}}; \rho_{12} = \frac{\rho_1 + \rho_{22}}{2}$$

7. Оценить результаты, полученные различными технологическими методами.
8. Сделать выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Опишите технологический процесс изготовления рисунка типологии методом фотолитографии.
2. Опишите технологический процесс изготовления рисунка типологии методом свободной маски.
3. Приведите основные источники погрешностей при изготовлении рисунка типологии методом фотолитографии.
4. Приведите основные источники погрешностей при изготовлении рисунка типологии методом свободной маски.

Литература: [1 – 3]

РАБОТА №3

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТРАФАРЕТА МЕТОДОМ ФОТОЛИТОГРАФИИ

План коллоквиума

Методы изготовления трафаретов (масок). Основные источники погрешности метода свободной маски.

Цель работы

Ознакомиться с методом фотолитографии для изготовления монометаллического трафарета и изготовить его.

Оборудование, приспособления и материалы

Для обеспечения технологического прогресса изготовления монометаллического трафарета используется следующее оборудование:

1. Скафандр для химической обработки;
2. Установка экспонирования или источник ультрафиолетового излучения ОКН-П;
3. Шкаф рушильный;
4. Центрифуга с вакуумным присосом;
5. Микроскоп бинокулярный МБС-9;
6. Электроплитка.
7. Стекло прижимное или рамка для экспонирования;
8. Пинцет;
9. Скальпель;
10. Термометр;
11. Секундомер;
12. Фотошаблон (негатив или позитив, в зависимости от типа применяемого фоторезиста);
13. Чашка Петри;
14. стакан для сбора отходов;
15. Напальчники резиновые;
16. Кисть беличья или колонковая;
17. Фоторезист; Лента бронзовая БрБ2, толщиной 0,08-0,1 мм;
18. Микропоршок Э9А;
19. Венская известь;
20. Батист, бязь, вата;
21. Осветляющий раствор;
22. Хлорное железо;
23. Лак химически стойкий ХСЛ;
24. Раствор для проявления фоторезиста;
25. Вода дистиллированная.

Общее положение

Для создания геометрического рисунка совмещенных тонкопленочных элементов, образующих многослойную структуру, применяется метод свободной маски.

Метод свободных масок базируется на использовании специальных металлических трафаретов. Применяют моно- и биметаллические трафареты, отличающиеся количеством слоёв. В данной работе изготавливается монометаллический трафарет.

Схема изготовления монометаллического трафарета приведена на рис. 6.

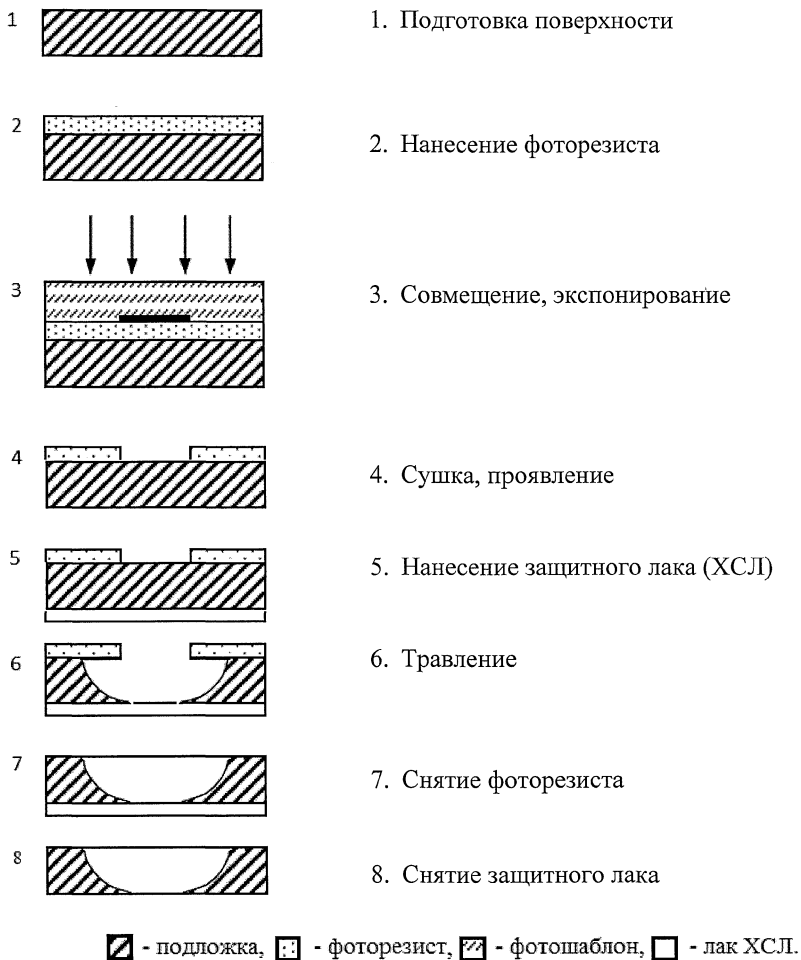


Рис. 6

К трафарету предъявляют ряд требований, определяемых условиями его эксплуатации. Трафарет используют в качестве маски при напылении пленок методом термического испарения в вакууме. Он устанавливается перед подложкой с некоторым зазором. Напыляемое вещество с испарителя поступает на подложку только через окна в трафарете, которые и образуют рисунок. Поэтому трафарет должен обладать жесткостью и упругостью, чтобы при нагреве в процессе напыления не деформироваться, но при этом быть достаточно тонким для уменьшения эффекта затенения. Этим требованиям удовлетворяют сплавы меди, сталь, молибден, бериллиевая бронза при толщинах фольги 50–125 мкм.

Содержание задания

- а) изучить технологический процесс изготовления монометаллического трафарета методом фотолитографии;
- б) ознакомиться с рабочим местом, оборудованием и применяемыми материалами;
- в) используя процесс фотолитографии изготовить монометаллический трафарет;
- г) оценить качество изготовленного трафарета, рассматривая его под микроскопом, и определить погрешности;
- д) сдать трафарет преподавателю.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с рабочим местом. Получить у учебного мастера хим. посуду, приготовленные растворы, пинцет, напальчники, фольгу, фотошаблон. **Внимание!** Фотошаблоны оберегайте от загрязнений. Не касайтесь пальцами поверхности фотошаблона. Берите за боковые поверхности.
2. Ознакомиться с оборудованием, применяемым в работе.
3. Технологический процесс по изготовлению монометаллического трафарета приведен в прилож. 2.
4. Провести контроль дефектов трафарета под микроскопом, дать анализ причин их появления. Произвести измерения погрешностей.
5. Привести рабочее место в порядок, сдать трафарет учебному мастеру.
6. Составить отчет.
7. Сделать выводы к работе.

Контрольные вопросы

- 1) Какие требования предъявляются к трафаретам?
 - 2) Какие разновидности трафаретов Вы знаете?
 - 3) Какие существуют методы изготовления монометаллических трафаретов?
 - 4) Как изготавливаются биметаллические трафареты?
 - 5) Какие достоинства и недостатки свободных и контактных масок?
 - 6) Назовите основные источники погрешности метода свободной маски?
- Литература: [1, 5, 6]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шука, А.А. Электроника: учебное пособие / А.А. Шука. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – Ч. 1. – 800 с.
2. Киреев, В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография – процессы и оборудование / В.Ю. Киреев. – М.: Изд. дом «Интеллект», 2016. – 320 с.
3. Игнатов, А.Н. Микросхемотехники и наноэлектроника: учебное пособие / А.Н. Игнатов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2011. – 528 с.
4. ГОСТ Р 52250-2004. Материалы электронной техники. Резисты для литографических процессов. Общие технические условия. – М.: МПК Изд-во стандартов, 2004. – 27 с.
5. Лапшинов, Б.А. Технология литографических процессов: учебное пособие / Б.А. Лапшинов. – М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2011. – 95 с.
6. Воротынцев, В.М. Базовые технологии микро- и наноэлектроники [Электронный ресурс] / В.М. Воротынцев, В.Д. Скупов. – М.: Проспект, 2017. – 520 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Типовой технологический процесс изготовления монометаллического графарета

№ Операции	№ Перехода	Операции и переходы технологического процесса	Оборудование, приспособления, инструменты	Материалы	Дополнительные указания
1	2	3	4	5	6
1	Подготовка поверхности				
	1	Обработать поверхность заготовки с помощью бязевого тампона	Шкаф вытяжной	Микропорошок ЭДА, батиет, бязь	Заготовка должна пройти термическую обработку
	2	Промыть заготовки проточной водой			
	3	Обезжирить поверхность заготовки венеской известью	Чашка Петри, пинцет, палочки резиновые, халат белый	Венская известь, персульфат аммония	Растворы готовят лаборант
	4	Повторить переход 2			
	5	Травление заготовки в течении 30с в растворе: персульфат аммония – 350 г; кислота серная (уд. вес 1.84) – 0,006л; вода дистиллированная – 0,65л		Кислота серная, кислота уксусная, хлористый натрий, вода	
	6	Повторить переход 2			
	7	Травление заготовки в течении 30с в осветляющем растворе: хлористый натрий – 100г; кислота уксусная (уд. вес 1.045) – 0.005л; вода дистиллированная – до 1л			
2	Нанесение фоторезиста				
	1	Проверить визуально чистоту подложки	Установка ПНФ		Нанесение фоторезиста

1	2	3	4	5	6
	2	Закрепить подложку на диске центрифуги, 1500 оборотов/с. Время – 45с		Фоторезист (ФН-11 или ФП-383)	Согласно инструкции по эксплуатации установки ПНФ
	3	Сушка фоторезиста в установке УСПФ-1, T = 100°C в течении 10 минут	УСПФ-1		Согласно инструкции на установку УСПФ-1
	4	Уложить подложку в чашку Петри и охладить в затененном месте	Чашка Петри		
	5	Промыть подложку в 3-х сменах дистиллированной воды	Вода дистиллированная		
3	Термообработка				
	1	Дубить заготовку в установке УСПФ-1 при T = 100°C 10 минут	УСПФ-1		Согласно инструкции на установку УСПФ-1
4	Нанесение защитного лака ХСЛ				
	1	Нанести на обратную сторону слой лака			
	2	Операция сушки и продолжения дубления совмещена. Сушить и дубить в сушильном шкафу, поставив заготовку вертикально для предупреждения повреждения фоторезиста. T = 150°C. Время – 15 мин	Стол лабораторный, кисть беличья, микроскоп МБС-10		
	3	Проверить наличие дефектов под микроскопом МБС-10			
5	Травление				
	1	Травить заготовку в растворе хлорного железа с плотностью 1.38 г/см ³	Стол, ковчег, чашки Петри, пинцет, напальчники	Раствор хлорного железа	Внимание: Не допускать попадания хлорного железа на кожу
	2	Промыть заготовку в проточной воде			
6	Снятие защитного лака				
				Вода дист. T = 90°C	

Типовой технологический процесс двойной фотолиграфии

№ Операции	№ Перехода хода	Операции и переходы технологического режима	Оборудование, приспособления, инструменты	Материалы	Дополнительные указания
1	2	3	4	5	6
1	1	Закрепить подложку на центрифуге. Число оборотов 2000. Время 45...50 с	<i>Нанесение фоторезиста</i>		
	1		Установка ПНФ, кисть колонковая, пипетка, секундомер	ФН-11 или ФП-383	Нанесение фоторезиста согласно инструкции по эксплуатации установки
	2	Проверить визуально чистоту подложки			
	3	Удалить пыль с поверхности подложки			
	4	Нанести фоторезист	Шкаф вытяжной	Диоксан, натрий едкий	
	5	Проверить визуально качество слоя. Слой должен быть равномерным, глянцевым, без пузырьков и инородный вкраплений			В случае обнаружения дефектов снять слой фоторезиста и нанести вновь
2		<i>Сушка фоторезиста</i>			
	1	Сушить подложку с нанесенным слоем фоторезиста в установке Т = 100°C в течение 10 минут	УСПФ-1		Сушка фоторезиста согласно инструкции на УСПФ-1
	2	Уложить подложку в чашку Петри и охладить в затемненном месте в течение 5 ми	Чашка Петри, эксикатор		

1	2	3	4	5	6
3	Экспонирование				
	1	Поместить подложку на стол установки УПСЭ-3	УПСЭ-3, фотошаблон		Время экспонирования устанавливается экспериментальным путем согласно инструкции УПСЭ-3
	2	Наложить фотошаблон эмульсионной стороной к светочувствительному слою			
	3	Произвести экспонирование			
4	Проявление				
	1	Поместить подложку в чашку Петри	Шкаф вывальной, чашка Петри, напальчники, пинцет, секундомер, проявляющий раствор	Толуол или натрий фосфорнокислый, 3-х замещенный, или NaOH – 2%	Процесс проявления контролировать визуально
5	Дублирование (термообработка)				
	1	Дубить заготовку в установке. Время – 10 мин. Температура - 100°C	УСПФ-1		Сушка в установке согласно инструкции
	2	Дубить заготовку в установке. Время – 15 мин. Температура – 150°C	УСПФ-1		

1	2	3	4	5	6
6	Травление меди			Состав I: H ₂ O ₂ , HCl, H ₂ O Состав II: ангидрид хромовой кислоты серная, вода дистиллированная	Состав I применяется для травления меди толщиной до 14 мкм. Состав II применяется для травления медного слоя от 1 до 4 мкм
	1	Сравнить медный слой с незащищенным фоторезистом	Чашка Петри, чашка фарфоровая		
	2	Промыть подложки в проточной воде	Шкаф вытяжной, сепидомер		
7	3	Сушить подложку	Вентилятор		
	Удаление фоторезиста				
	1	Удалить фоторезист	Чашка фарфоровая Шкаф вытяжной	Диоксан или 20%-ный раствор NaOH	
	2	Промыть подложку в проточной воде. Время 2...3 минуты			
8	3	Сушить подложку	Вентилятор		
	4	Контроль. Проверить качество элементов схемы	Микроскоп МБР-10		Качество элементов схемы проверить под микроскопом при 16X увеличении
	Нанесение фоторезиста (резистивный слой)				
	1	Закрепить подложку на центрифуге. Число оборотов – 2000.		Установка ПНФ, кисть колонковая	ФН-11, ФП-383
	2	Проверить визуальную чистоту подложки			
	3	Удалить пыль с поверхности подложки			
	4	Нанести фоторезист	Шкаф вытяжной	ФН-11, ФП-383	

1	2	3	4	5	6
	5	Проверить визуально качество слоя. Слой должен быть равномерным, глянцевым, без пузырьков и инородных включений			В случае обнаружения дефектов снять слои фоторезиста нанести вновь
9		Сушка фоторезиста			
	1	Сушить подложку с нанесенным слоем фоторезиста в течение 10 минут. Температура - 100°C	УСПФ-1		Работа на установке согласно инструкции по эксплуатации установки УСПФ-1
	2	Уложить подложку в чашку Петри и охладить в затемненном месте 5 минут	Чашка Петри, эксикатор		
10		Экспонирование			
	1	Поместить подложку на стол установки УПСЭ-3	УПСЭ-3, фотошаблон		Работа на установке УПСЭ-3 согласно инструкции
	2	Наложить фотошаблон эмульсионной стороной к светочувствительному слою			
	3	Произвести экспонирование			Время экспонирования устанавливается экспериментально
11		Проявление			
	1	Поместить подложку в чашку Петри	Шаф вытяжной		
	2	Налить проявляющий раствор в зависимости от фоторезиста, так чтобы он покрывал поверхность на подложки	Чашка Петри, палочки	Толуол, натрий фосфорнокислый 3-х валентный	Процесс проявления контролируется визуально
	3	Проявлять при непрерывном покачивании в течение 30...40 с до полного вымывания фоторезиста с экспонированных участков	Пинцет, секундомер	Проявляющий раствор	Подложку с нанесенным фоторезистом помещать последовательно в две чашки Петри с толуолом

1	2	3	4	5	6	
11	4	Промыть подложку в проточной воде	Шкаф вытяжной			
	5	Промыть подложку в дистиллированной воде	Вода дистиллированная		Изображение должно быть четким с ровными краями без разрывов	
	6	Сушить заготовку в струе воздуха в течение 1 минуты				
	7	Произвести контроль изображения	Микроскоп МБС-10		Изображение контролировать под микроскопом МБС-10. Некачественное изображение рисунка на ФП-383 смыть 20% раствором NaOH, ФН-11 - диоксаном	
	12	<i>Дубление (термообработка)</i>				
		1	Дубить заготовку в установке. Время – 10 мин. Температура - 100°C	УСПФ-1		Сушка в установке согласно инструкции по эксплуатации установки
		2	Дубить заготовку в установке. Время – 15 мин. Температура – 150°C	УСПФ-1		
13	<i>Травление хрома</i>					
	1	Стравить резистивный слой с незащищенных участков подложки	Чашка Петри, чашка фарфоровая	НС 1:1, алюминиевая палочка		
	2	Промыть подложки в проточной воде	Шкаф вытяжной, сепандомер			
	3	Сушить подложку	Вентилятор			

1	2	3	4	5	6
14			Удаление фоторезиста		
1	Удалить фоторезист			ФН-11 – диоксид-сан, ФП-383 – 20% р-р NaOH NaOH	
2	Промыть подложку в проточной воде. Время 2...3 минуты		Шкаф вытяжной		
3	Сушить подложку		Вентилятор		
4	Проверить качество элементов схемы		Микроскоп МБС-10		

Типовой технологический процесс очистки подложек

Номер операции	Номер перехода	Операции и переходы	Оборудование, приспособления, инструмент	Материалы	Режимы		Дополнительные указания
					Температура, °C	Время, мин	
1	2	3	4	5	6	7	8
Промывка подложек							
1	1	Установить подложки в кассеты	Кассеты для промывки подложек	Тринатрийфосфат, вещество жидкое моющее «Прогресс», вода дистиллированная			Подложки из кассет в процессе очистки не вынимать
2	2	Обезжирить подложки	Установка ультразвуковая моющая, секундомер, термометр ртутный стеклянный лабораторный		70±5	От 3 до 4	Способ приготовления суспензии приведен в приложении 3. Переходы 2, 3 и 4 производить только после механической обработки подложек. Допускается обработка подложек без наложения ультразвука
3	3	Промыть подложки проточной водой	Посуда химическая, секундомер		60±10	От 1 до 2	

1	2	3	4	5	6	7	8
4	4	Промыть подложки холодной проточной водой	То же			От 1 до 2	
2	Промывка подложек						
		Прокипятить подложки	Шкаф вытяжной химический, посуда химическая, плитка электрическая нагревательная бытовая (закрытая), часы сигнальные	Водорода перекись (плотность 1,4), аммиак водный, вода дистиллированная	–	20±5	Уровень раствора должен быть выше верхнего края подложек не менее, чем на 10 мм. Способ приготовления раствора приведен в приложении 4
2		Промыть подложки	Плитка электрическая нагревательная бытовая (закрытая), посуда химическая	Вода дистиллированная	70±10	–	Производить 5-кратным погружением кассеты с подложками в дистиллированную воду
		Прокипятить подложки	Плитка электрическая нагревательная бытовая (закрытая), посуда химическая, часы сигнальные	То же	–	10±3	Уровень воды должен быть выше верхнего края подложки не менее, чем на 10 мм
3	Прокаливание						
1		Уложить керамические подложки на подставки из огнеупорной керамики	Подставки керамические цеховые				Ситалловые подложки из кассет не вынимать

1	2	3	4	5	6	7	8
3	2	Поместить подложки в печь (сушильный шкаф)	Печь ДЭС.688.007, электропечь сопротивления двухколпаковая вакуумная или электропечь камерная	Аргон газообразный	30±10		Прокаливание ситалловых подложек производить в среде инертного газа в сушильном шкафу. Расход газа 40 л/ч. Прокаливание керамических подложек производить в вакуумной печи или электропечи
	3	Прокаливание подложки	То же		300±5 750±10 900±10	30±5 30±5 30±5	Режимы прокаливания: Для ситалла Для 22ХС и ГМ-1 Для поликора Скорость подъема температуры от 100 до 300□ в ч. Остаточное давление в вакуумной печи не выше 7·10 ⁻³ Па
	4	Охлаждать в печи (сушильном шкафу)			70±10		Охлаждение подложки поместить в эксикатор с силикагелем
4	Обработка подложек в изопропиловом спирте						
	1	Установить подложки в кассеты	Кассеты для промывки подложек				
	2	Прокипятить подложки	Шкаф вязяжной, просушка химическая	Спирт изопропиловый	80	От 5 до 6	

Продолжение прилож. 3

5	Контроль			<p>Операцию выполнять в соответствии с разделом 3 настоящего стандарта. Для контроля брать не менее трех подложек от партии. После проверки подложки необходимо обработать в изопропиловом спирте (операция 4)</p>
	<p>Проверить качество очистки подложек</p>	<p>Посуда химическая</p>	<p>Вода дистиллированная</p>	

Таблица травителей для тонкопленочных слоев

Материал пленки	Возможные травители	Примечание
1	2	3
Алюминий	Хлорид железа, гидрат окиси натрия	Эти травители не действуют на тантал, титан, золото и платину
Хром	Ортофосфорная кислота, соляная кислота, хлорид железа, концентрированная соляная кислота	Можно использовать серную кислоту, но она менее желательна
Медь	Хлорид железа, персульфат аммония	Эти травители годятся для сплавов с высоким содержанием меди
Золото	“Царская водка”	
Молибден	Концентрированная серная кислота, разбавленная азотная кислота	Можно использовать анодное травление в хромовой кислоте
Нихром	Концентрированная соляная кислота и вода	Годится для никеля, и для магнитных сплавов на основе никеля
Платина	“Царская водка”	Годится для сплавов платины
Кремний	Хлорид железа, концентрированная азотная и плавиковая кислоты	Можно использовать разбавленную азотную кислоту, но она менее желательна
Двуокись кремния	Насыщенный водный раствор фтористого аммония	Этот травитель не действует на золото и нихром, но если они нанесены на стеклянную подложку, то при отсутствии защиты могут от нее отслаиваться
Серебро	Нитрат железа	Этот травитель не действует на золото, нихром и тантал
Тантал	Концентрированная плавиковая кислота, разбавленная азотная кислота	
Титан	Разбавленная плавиковая кислота	

ОГЛАВЛЕНИЕ

Требования к выполнению работ.....	3
Меры безопасности при выполнении работ.....	4
Работа №1. Технология изготовления пленочного резистора методом двойной селективной фотолитографии.....	5
Работа № 2. Расчет погрешностей резистора изготовленного различными методами.....	9
Работа №3. Технология изготовления монометаллического трафарета методом фотолитографии.....	14
Библиографический список	17
Приложения.....	18

Учебное издание

Забейворота Николай Семенович

ОСНОВЫ ЛИТОГРАФИИ

Учебное пособие

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 06.12.2019. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,86. Тираж 40 экз. Заказ 479/133.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.