

Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана

Центр довузовской подготовки

---

*Технический лабораторный практикум — школьным инженерным классам*

Факультет «Информатика и системы управления»

Кафедра «Проектирование и технология производства  
электронной аппаратуры» (ИУ-4)

# Основы конструкторско- технологической информатики в радиоэлектронике

*Методические указания к выполнению  
лабораторных работ*



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО

МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 6

УДК 681.321

ББК 32.971

О-75

Факультет «Информатика и системы управления»  
Кафедра «Проектирование и технология производства электронной  
аппаратуры» (ИУ-4)

*Авторы:*

*А.А. Адамова, А.И. Власов, А.В. Косовский, Т.А. Цивинская*

*Рецензент*

*Е.Г. Буркова*

**О-75 Основы конструкторско-технологической информатики  
в радиоэлектронике** : методические указания к выполнению ла-  
бораторных работ / А. А. Адамова, А. И. Власов, А. В. Косовский,  
Т. А. Цивинская. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баума-  
на, 2016. — 58, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4417-5

Сборник включает описание цикла экспериментальных лабо-  
раторных работ, организованных МГТУ им. Н.Э. Баумана на базе  
современных научных лабораторий и научно-образовательных цен-  
тров в рамках реализации «Технического лабораторного практику-  
ма — школьным инженерным классам» для обучающихся, осваи-  
вающих программу основного общего и среднего общего  
образования.

Лабораторный практикум позволит обучающимся ознако-  
миться с прикладным значением теоретических знаний в обла-  
сти физики и информатики, полученных в ходе изучения курсов  
школьной программы, а также даст возможность погрузиться в  
широкий спектр современных инженерных специальностей.

УДК 681.321

ББК 32.971

© Центр довузовской подготовки, 2016

© Оформление. Издательство

МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016

ISBN 978-5-7038-4417-5

## Предисловие

Предлагаемые методические указания предназначены для школьников старших классов образовательных учреждений среднего (полного) общего образования, выполняющих цикл лабораторных работ по теме «Основы конструкторско-технологической информатики в радиоэлектронике» в МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках реализации программы «Новые кадры оборонно-промышленного комплекса».

В методических указаниях представлены шесть лабораторных работ, в которых приводятся необходимые базовые сведения об основах радиоэлектроники (работа № 1), о параметрах сопротивлений (работа № 2), о полупроводниковых структурах (работа № 3), о коммутационных структурах в радиоэлектронике (работа № 4), а также о точности параметров электрорадиоэлементов в электронных приборах (работы № 5 и 6). Охарактеризовано экспериментальное оборудование, даны рекомендации к проведению экспериментов, приведены контрольные вопросы и необходимый перечень литературных источников по каждой работе.

Лабораторный практикум дает школьникам возможность освоить базовые понятия, относящиеся к области конструкторско-технологической информатики в радиоэлектронике, ощутить связь инженерных задач и знаний, полученных при изучении школьных курсов физики, химии и информатики.

# Лабораторная работа № 1

## Анализ электрических цепей с применением электронного конструктора

### Введение

В лабораторной работе рассматриваются базовые понятия курса физики (раздел «Электродинамика»), относящиеся к исследованию электрических цепей и характеристик электрорадиоэлементов (ЭРЭ). Учащиеся закрепляют практические навыки по применению средств измерений электрических сигналов, оценке основных параметров электрических цепей: силы тока, напряжения, сопротивления, частоты; анализируют виды электрических сигналов; на конкретных макетах знакомятся с различными ЭРЭ.

**Цель работы** — закрепление базовых теоретических знаний и приобретение практических навыков в области электротехники и электроники.

Основное внимание уделено формированию и закреплению навыков самостоятельного расчета, построения электрических цепей и непосредственной сборки по созданным схемам макетов устройств с применением модульного электронного конструктора «Знаток» (<http://www.znatok.ru>).

При выполнении лабораторной работы учащиеся знакомятся с условиями эксплуатации ЭРЭ, электронных схем на их основе и применением измерительных приборов, получают навыки по компоновке электронных схем, монтажу коммутационных элементов электроники, использованию базовых расчетных моделей. Учащиеся имеют возможность экспериментально проверить результаты аналитических расчетов.



## Базовые понятия

*Электрическим током* называется упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц. Такими заряженными частицами в *проводниках* — веществах, проводящих электрический ток, — являются электроны, в газах и жидкостях — еще и ионы, т. е. атомы, лишенные одного или нескольких электронов (либо, наоборот, имеющие лишние электроны).

Для того чтобы в проводнике возник электрический ток, необходимо создать электрическое поле. Электрический ток может быть постоянным или переменным.

*Постоянный ток* — электрический ток, направление и величина которого не изменяются со временем.

*Переменный ток* — электрический ток, величина и направление которого изменяются с течением времени.

*Электрической цепью* является совокупность электротехнических устройств, образующих путь для прохождения электрического тока. К электротехническим устройствам относятся:

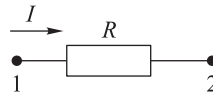

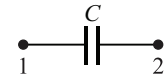

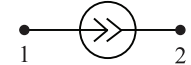
- источники электромагнитной энергии (генераторы) или электрических сигналов (гальванические элементы, аккумуляторы);
- приемники или потребители;
- устройства передачи и преобразования электрической энергии (кабели, провода, трансформаторы).

Для анализа и синтеза электрических цепей используют следующие понятия:

- *электродвижущая сила* (ЭДС), обозначение  $E$ ;
- *напряжение*, обозначение  $U$  (величины  $E$  и  $U$  измеряются в вольтах (В));
- *сила тока*  $I$ , измеряется в амперах (А);
- *электрическое сопротивление*  $R$ , измеряется в омах (Ом);
- величина, обратная электрическому сопротивлению, — *электрическая проводимость*  $G$  ( $R = 1/G$ ), измеряется в сименсах (См);
- *индуктивность*  $L$ , единица измерения генри (Гн);
- *электрическая емкость*  $C$ , единица измерения фарад (Ф).

Электрические схемы включают ЭРЭ, которые обозначают с помощью условных графических обозначений — УГО (табл. 1).

## Основные УГО ЭРЭ

Наименование	Условное обозначение
Активное сопротивление	
Индуктивность	
Емкость	
Источник ЭДС	
Источник тока	

*Положительным* направлением тока называется направление, в котором перемещаются положительно заряженные частицы, или направление, противоположное движению электронов.

*Сила тока* — величина, равная отношению электрического заряда  $q$ , прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени  $t$  его прохождения:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Сила тока, как уже было сказано, измеряется в амперах (А), электрический заряд — в кулонах (Кл). Силу тока измеряют прибором, который называется *амперметром*.

Электрические заряды создают в пространстве электрическое поле. Точечный заряд, оказавшись в некоторой точке поля, приобретает потенциальную энергию. Если энергию заряда поделить на величину этого заряда, то получится величина, характеризующая электрическое поле, созданное заряженным телом в данном месте. Такую величину называют *потенциалом  $\phi$  электрического поля*. Потенциал является энергетической характеристикой электрического поля.

Величина  $U = \varphi_2 - \varphi_1$  называется *разностью потенциалов* или *напряжением*. Это энергия (работа), которая тратится на перемещение единичного положительного заряда из точки с низким потенциалом в точку с более высоким потенциалом. Как было сказано, напряжение электрического поля измеряется в вольтах (В). Для измерения напряжения используют прибор, который называется *вольтметром*.

Немецкий физик Георг Ом в 1826 г. экспериментально установил, что сила тока  $I$ , текущего по однородному металлическому проводнику (т. е. проводнику, в котором не действуют сторонние силы), пропорциональна напряжению  $U$  на концах проводника:

$$I = \frac{1}{R}U, \text{ или } RI = U,$$

где  $R = \text{const}$ .

### Основные законы электротехники

При анализе участка цепи, содержащего ЭДС (рис. 1), используется *закон Ома*:

$$I = \frac{U_{12}}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R},$$

где  $\varphi_2 = \varphi_3 - E$ ;  $\varphi_1 - \varphi_3 = U - E$ .

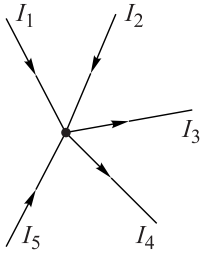
Из этого следует:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_3 + E}{R} = \frac{U_{13} + E}{R}.$$



**Рис. 1.** Участок цепи, содержащий ЭДС

При анализе токов в узле (рис. 2) используется *первый закон Кирхгофа*, который гласит, что алгебраическая сумма токов в



**Рис. 2.** Характер изменения токов в узле

любом узле (где  $k$  — число линий) электрической цепи равна нулю:

$$\sum I_k = 0, \quad I_1 + I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0,$$

или, другими словами, сумма токов, направленных к узлу, равна сумме токов, направленных от него:

$$I_1 + I_2 + I_5 = I_3 + I_4.$$

При этом необходимо учитывать, что если ток направлен в узел, то перед значением тока в уравнении ставится знак плюс, если ток направлен от узла, то знак минус.

## Классификация электрорадиоэлементов

### Резистивный элемент (резистор)

*Резистор* — пассивный элемент, характеризующийся резистивным сопротивлением (рис. 3), которое определяется геометрическими размерами тела и свойствами материала: удельным электрическим сопротивлением  $\rho$  или обратной величиной — удельной электрической проводимостью  $\gamma$ .

В простейшем случае сопротивление проводника длиной  $l$  и сечением  $S$  определяется выражением

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\gamma S}.$$

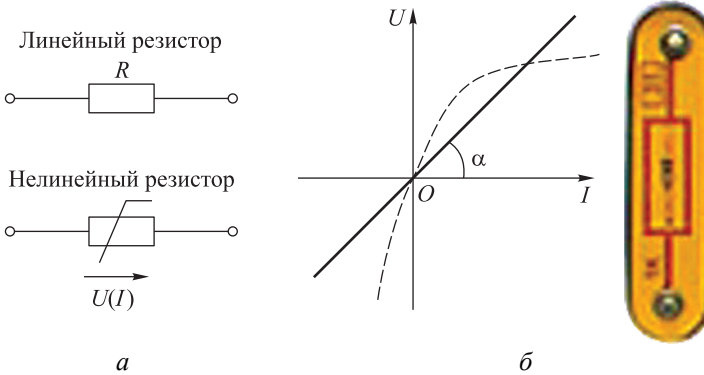
В общем случае определение сопротивления связано с расчетом характеристик электрического поля в проводящей среде, разделяющей два электрода. Основной характеристикой резистивного элемента является зависимость  $U(I)$  (или  $I(U)$ ), называемая *вольт-амперной характеристикой* (ВАХ). Если зависимость  $U(I)$  представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 3, б), то резистор называется *линейным* и описывается соотношением

$$U = RI = m_R I \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$I = GU,$$

где  $G = R^{-1}$  — электрическая проводимость;  $m_R$  — масштабный коэффициент сопротивления, равный  $m_U/m_I$  ( $m_U$  — масштабный коэффициент по напряжению, В/мм;  $m_I$  — масштабный коэффициент по току, А/мм), при этом  $R = \text{const}$ .



**Рис. 3.** Резистивные элементы:

$a$  — УГО;  $b$  — ВАХ (слева,  $\alpha$  — угол наклона графика) и внешний вид ЭРЭ в конструкторе (справа)

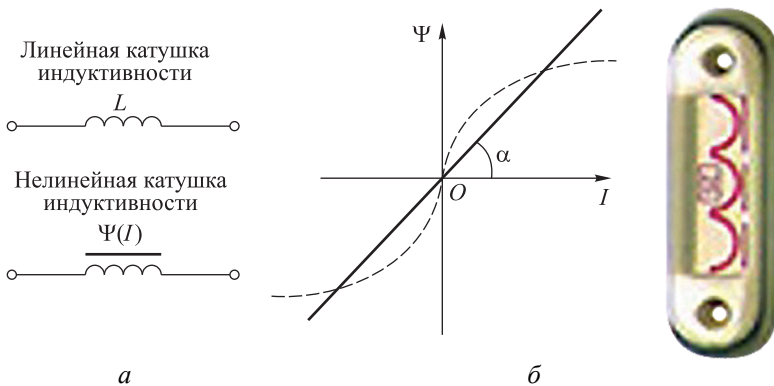
*Нелинейные* резистивные элементы (криволинейная зависимость на рис. 3,  $b$ ) могут иметь монотонную или немонотонную ВАХ. У элементов с монотонной ВАХ увеличение приложенного к элементу напряжения приводит к росту (или хотя бы к неуменьшению) тока, и наоборот, увеличение тока приводит к возрастанию напряжения на элементе. Напряжение и ток на зажимах такого элемента связаны между собой однозначной зависимостью, причем производные  $dU/dI$  и  $dI/dU$  во всех точках ВАХ принимают только неотрицательные значения. Если хотя бы в ограниченном диапазоне изменения токов и напряжений рост напряжения на зажимах элемента приводит к уменьшению тока или, наоборот, увеличение тока приводит к снижению напряжения, то ВАХ такого элемента — немонотонна.

Ток и напряжение нелинейного резистивного элемента с немонотонной ВАХ не связаны между собой взаимно-однозначной зависимостью. Зависимость между токами и напряжениями эле-

ментов с монотонной ВАХ может быть представлена как в виде  $U = U(I)$ , так и в виде  $I = I(U)$ . Дифференциальное сопротивление элементов с монотонной ВАХ не принимает отрицательных значений.

### Индуктивный элемент (катушка индуктивности)

*Катушка индуктивности* — пассивный элемент, характеризующийся индуктивностью (рис. 4). Для расчета индуктивности катушки необходимо рассчитать созданное ею магнитное поле.



**Рис. 4.** Индуктивные элементы:

*а* — УГО; *б* — ВАХ (слева) и внешний вид ЭРЭ в конструкторе (справа)

Индуктивность определяется отношением потокосцепления  $\Psi$  к току  $I$ , протекающему по виткам катушки:

$$L = \frac{\Psi}{I}.$$

Потокосцепление, в свою очередь, равно сумме произведений потока, пронизывающего витки, на число этих витков:

$$\Psi = \sum \omega_k \Phi_k,$$

где  $\omega_k$  — эквивалентное (или эффективное) число витков катушки;  $\Phi_k$  — поток, сцепляющийся с внутренними витками катушки.

При этом  $\Phi_k = \int_{S_k} \vec{B} d\vec{S}$ , где  $\vec{B}$  — вектор магнитной индукции

(единицей магнитной индукции является тесла — Тл);  $S$  — площадь поперечного сечения витка;  $k$  — номер витка (сечения).

Основной характеристикой катушки индуктивности является зависимость  $\Psi(I)$ , называемая *вебер-амперной характеристикой*. Для линейных катушек индуктивности зависимость  $\Psi(I)$  представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 4, б), при этом

$$L = m_L \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{const},$$

где  $m_L$  — масштабный коэффициент индуктивности, равный  $m_\Psi/m_I$  ( $m_\Psi$  — масштабный коэффициент по потокосцеплению, Вб/мм;  $m_I$  — масштабный коэффициент по току, А/мм), при этом  $R = \operatorname{const}$ .

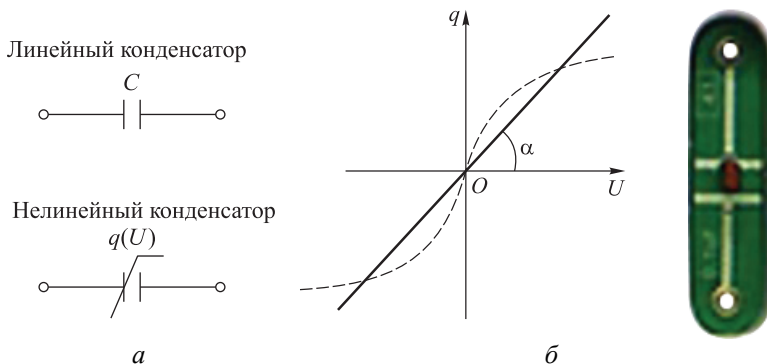
Нелинейные свойства катушки индуктивности (криволинейная зависимость на рис. 4, б) определяются наличием у нее сердечника из ферромагнитного материала, для которого зависимость магнитной индукции  $B$  от напряженности  $H$  электрического поля нелинейна:  $B(H) = \mu_0 \mu H$  ( $\mu$  — магнитная проницаемость;  $\mu_0$  — магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м).

### Емкостный элемент (конденсатор)

*Конденсатор* — пассивный элемент, характеризующийся электрической емкостью (рис. 5). Для расчета емкости необходимо рассчитать характеристики электрического поля в конденсаторе. Емкость определяется отношением заряда  $q$  на обкладках конденсатора к напряжению  $U$  между ними:  $C = q/U$  и зависит от геометрии обкладок и свойств диэлектрика, находящегося между ними. Большинство диэлектриков, используемых на практике, линейны, т. е. их относительная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon = \operatorname{const}$ . В этом случае зависимость  $q(U)$  представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (рис. 5, б):

$$C = m_C \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{const},$$

где  $m_C$  — масштабный коэффициент по емкости, равный  $m_q/m_U$ , ( $m_q$  — масштабный коэффициент по величине заряда, Кл/мм;  $m_U$  — масштабный коэффициент по напряжению, В/мм).



**Рис. 5.** Емкостные элементы:

*a* — УГО; *б* — ВАХ (слева) и внешний вид ЭРЭ в конструкторе (справа)

У нелинейных диэлектриков (сегнетоэлектриков) диэлектрическая проницаемость является функцией напряженности электрического поля, что обуславливает нелинейность зависимости  $q(U)$ .

## Источники питания, батареи, аккумуляторы

Современные батареи и аккумуляторы применяются практически в одних и тех же областях, зачастую очень похожи внешне, но имеют существенные различия.

*Батарея* — так называют одноразовый, непerezаряжаемый гальванический элемент. *Гальванический элемент* — это химический источник тока, возникающее на выводах которого напряжение есть результат химической реакции.

Батареи подразделяют на три основных типа:

*солевые* — угольно-цинковые с соевым электролитом, напряжение одного элемента 1,5 В;

*щелочные* — марганцево-цинковые с щелочным электролитом, напряжение одного элемента 1,5 В;

*литиевые* — имеют форму диска, напряжение одного элемента 3 В.



*Аккумулятор* — перезаряжаемый гальванический элемент, химический источник тока многоразового использования, работоспособность которого может быть восстановлена путем зарядки, т. е. пропусканием тока в направлении, обратном направлению тока при разряде.

В настоящее время наибольшее распространение получили три типа аккумуляторов:

*никель-металлгидридные* (обозначение NiMH или MH-Ассу), напряжение одного элемента 1,2 В;

*никель-кадмиевые* (обозначение NiCD, или NC-Ассу, или NiCad), напряжение одного элемента 1,2 В;

*литий-ионные* (обозначение Li-Ion или LithiumIon), напряжение одного элемента 3,6 В.

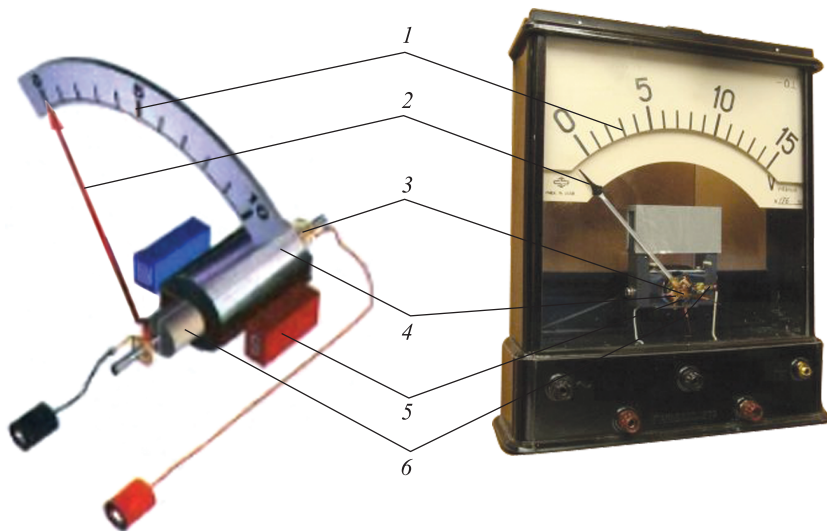
Одним из важнейших параметров гальванических элементов является *емкость* — энергия, которую может отдать гальванический элемент при разряде до некоторого минимально допустимого значения напряжения. Емкость выражается произведением силы тока (в амперах) на время работы (в часах), т. е. в ампер-часах или миллиампер-часах, например: 1800 мА·ч (1800 mA·h). Чем больше емкость, тем дольше от этого элемента будет работать устройство.

## Электроизмерительные приборы

*Гальванометр* — высокочувствительный измерительный прибор, предназначенный для измерения малых значений силы тока, напряжения и количества электричества. В зависимости от подключаемых внешних элементов гальванометр может выполнять функции амперметра, вольтметра, омметра, спидометра, тахометра и пр.

Условное обозначение гальванометра на схемах: .

Положение стрелки на УГО гальванометра указывает, в какую сторону будет отклоняться стрелка реального прибора при подаче входного сигнала. Если стрелка на УГО расположена вертикально, то стрелка реального прибора может отклоняться в обе стороны (рис. 6).



**Рис. 6.** Устройство гальванометра:

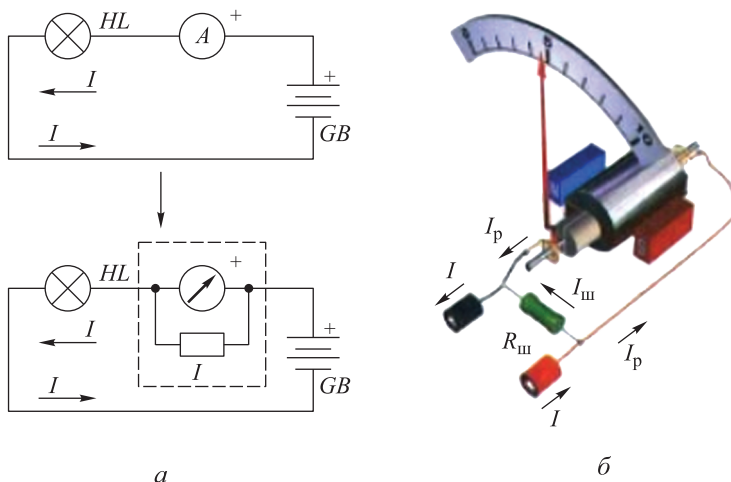
1 — шкала; 2 — стрелка; 3 — полуоси с пружинами; 4 — подвижная рамка;  
5 — магнит; 6 — неподвижный сердечник

Между полюсами дугообразного магнита 5 находится многовитковая рамка 4, удерживаемая в нулевом положении пружиной. Рамка крепится к полуосям 3 и может свободно вращаться вокруг неподвижного сердечника 6. К полуоси прикреплена стрелка 2, движущаяся вдоль шкалы 1.

Измеряемый ток подходит к рамке по проводам. Протекая по рамке, ток создает вокруг нее направленное магнитное поле. Это поле, взаимодействуя с полем магнита, вызывает поворот рамки и отклонение стрелки. Чем больше сила тока, тем больше угол поворота стрелки. При выключении тока пружина возвращает стрелку к нулевой отметке шкалы.

По этому принципу работают приборы магнитоэлектрической системы, предназначенные для измерения постоянного тока. Если на такой гальванометр подать переменный сигнал, то отклонение стрелки будет соответствовать среднему значению, т. е. если подать синусоидальный сигнал, то гальванометр покажет нуль.

*Амперметр* — прибор для измерения силы тока (рис. 7). Этот прибор представляет собой гальванометр с дополнительным калиброванным резистором, включенным параллельно с рамкой гальванометра. Такие калиброванные резисторы называют *шунтами*. От сопротивления шунта зависит диапазон измерения амперметра: чем меньше сопротивление шунта, тем больше диапазон измерения.

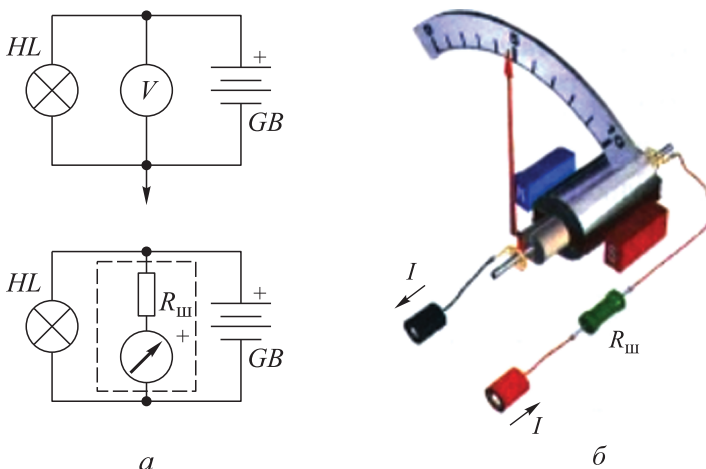


**Рис. 7.** Амперметр:

*a* — схема включения в электрическую цепь; *б* — устройство; *HL* — источник света; *GB* — батарея; *I* — ток; *I<sub>п</sub>* — ток рамки; *I<sub>ш</sub>* — ток шунта; *R<sub>ш</sub>* — сопротивление шунта

В электрическую цепь амперметр включают последовательно с элементом, в котором он измеряет силу тока, и поэтому в идеальном случае должен иметь нулевое сопротивление. Шкала градуируется в микроамперах (мкА), миллиамперах (мА) или амперах (А).

*Вольтметр* — прибор для измерения ЭДС или напряжения. Этот прибор представляет собой гальванометр с добавочным резистором, включенным последовательно с рамкой гальванометра (рис. 8).



**Рис. 8.** Вольтметр:

*a* — схема включения в электрическую цепь; *б* — устройство; *HL* — источник света; *GB* — батарея; *I* — ток;  $I_{ш}$  — ток шунта;  $R_{ш}$  — сопротивление шунта

В электрическую цепь вольтметр включают параллельно с элементом, на котором он измеряет падение напряжения, или источником питания, и поэтому в идеальном случае должен иметь бесконечно большое сопротивление. Шкала градуируется в микровольтах (мкВ), милливольтмах (мВ), вольтах (В) или киловольтах (кВ).

По форме представления информации электроизмерительные приборы подразделяют на *аналоговые* (стрелочные) и *цифровые*, в которых информация выводится на цифровой дисплей.

### Подготовка к работе

1. Внимательно прослушайте инструктаж по технике безопасности при работе с электронными приборами и электрооборудованием.
2. Получите у преподавателя модульный электронный конструктор «Знаток». Проверьте его комплектность.
3. Проанализируйте представленные схемы.

4. Проведите предварительные расчеты схем, учитывая, что диапазон измерения гальванометра составляет 300 мкА. Используя основные законы электротехники, заполните таблицы с исходными данными, рассчитайте требуемые значения параметров в цепи и после проведения эксперимента сравните эти значения с показаниями прибора.

5. Найдите в кассетах модульного конструктора необходимые для сборки схемы ЭРЭ, сформируйте сборочный комплект ЭРЭ. Электронный модульный конструктор обеспечивает сборку схемы без применения пайки с помощью механических креплений.

6. Разместите на рабочем столе антистатический коврик.

7. Поставьте перед собой коммутационную панель модульного конструктора и необходимые контрольно-измерительные приборы, включите электропитание приборов, проверьте (установите) начальные настройки измерительных приборов.

8. После компоновки рабочего места можно приступать к сборке и экспериментальным исследованиям схемы.

9. По окончании экспериментов отключите электропитание, разберите элементы конструктора и разместите их в соответствующих кассетах. Сдайте упакованный комплект преподавателю.

## **Методика и порядок проведения эксперимента**

1. Перед началом работы проанализируйте электрическую схему устройства в соответствии с вариантом задания и сделайте необходимые теоретические расчеты.

2. Перед началом сборки на антистатическом коврике разместите центральную коммутационную плату.

3. Изучите особенности коммутационной платы модульного конструктора, принципы монтажа на ней ЭРЭ, продумайте компоновку элементов на коммутационной плате. Элементы рекомендуется размещать от центра коммутационной платы к ее периферии, элементы с большим числом связей следует располагать в центре, с меньшим числом связей — по периферии. При компоновке необходимо следить за тем, чтобы масса монтируемых элементов была равномерно распределена по всей коммутационной плате.

4. Разместите ЭРЭ на коммутационной плате.

5. Проведите коммутацию ЭРЭ соединительными проводниками (перемычками), число которых в наборе ограничено (необходимо заранее продумать компоновку схемы с точки зрения минимизации внутренних связей).

6. Соберите схемы.

7. Выполните необходимые измерения, запишите результаты экспериментов. Сравните расчетные и экспериментальные данные и сделайте выводы.

### **Порядок оформления отчета о лабораторной работе**

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) электромонтажная схема стенда и ее описание;
- 3) краткий конспект теоретической части и теоретические расчеты;
- 4) комплектность собираемой схемы (перечень элементов);
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований;
- 7) выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных данных.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение электрической цепи.
2. Назовите основные параметры электрического тока.
3. Чем отличаются схемы включения в электрическую цепь амперметра и вольтметра?
4. В чем отличие батареи от аккумулятора?
5. Чем можно объяснить различия между результатами теоретических расчетов и показаниями прибора?
6. Объясните принцип работы гальванометра.
7. Для каких целей используется шунт?
8. В чем отличие литиевых батарей от солевых?

## Лабораторная работа № 2

### Исследование параметров сопротивлений

#### Введение

При выполнении лабораторной работы учащиеся знакомятся с конструкторско-технологической реализацией такого электро-радиоэлемента, как резистор.

**Цель работы** — изучение методов оценки параметров резисторов, измерение отклонений значений их сопротивления от номинального, ознакомление с базовыми методами обработки результатов измерений.

Разброс параметров у компонентов электрических схем, как и у любых других изделий, порождается рядом первичных погрешностей, значения которых переменны при изготовлении различных партий деталей. Если переменные первичные погрешности не подчиняются какой-либо определенной функциональной зависимости от времени и их появление носит случайный характер, то такие погрешности называются *случайными*. Если переменные погрешности изменяются во времени по вполне определенному закону, то их называют *систематическими* (или *функциональными*).

К числу причин случайного характера, вызывающих рассеивание параметров при изготовлении партии радиодеталей, следует отнести колебание характеристик основных материалов (например, материалов проводов, корпуса). Помимо этих факторов рассеивание параметров может вызываться отклонениями от требований технологического процесса изготовления (например, колебаниями температуры в печах, где производится науглероживание непроволочных сопротивлений; колебаниями положения заготовки при установке и закреплении ее на станке для нарезки спирали; изменением процентного содержания и химической чистоты компонентов, образующих токопроводящий слой у сопротивлений, и т. п.

Поскольку число факторов, вызывающих рассеивание значений параметров в каждом конкретном случае велико и действие многих из них не подчиняется аналитическому учету, диапазон рассеивания целесообразно определять, пользуясь методами математической статистики. При этом выполняют пробный замер определенных параметров, влияющих на качество, в выборочной партии изделий, составляющий 10 % от общего числа изделий в конкретной партии.

В лабораторной работе объектом исследования являются резисторы, изготовленные по различным технологиям. Их основной рабочий параметр — электрическое сопротивление. Чтобы сравнить характеристики различных партий резисторов, необходимо измерить электрическое сопротивление у определенного числа резисторов из каждой партии, вычислить отклонения от номинального значения, найти среднюю погрешность и методом сравнения определить степень качества партий резисторов.

### Базовые понятия

*Электрическое сопротивление* — физическая величина, характеризующая свойства проводника препятствовать прохождению электрического тока и равная отношению напряжения на концах проводника к силе тока, протекающего по нему.

Сопротивление в определенных пределах считается постоянной величиной для данного проводника:

$$R = \frac{U}{I},$$

где  $R$  — сопротивление, Ом;  $U$  — разность электрических потенциалов (напряжение) на концах проводника, В;  $I$  — сила тока, протекающего между концами проводника под действием разности потенциалов.

В международной системе единиц (СИ) единицей сопротивления является ом (русское обозначение: Ом, международное:  $\Omega$ ).

Высокая электропроводность металлов связана с тем, что в них имеется большое количество носителей тока — электронов проводимости, образующихся из свободных электронов атомов



металла, не принадлежащих определенному атому. Электрический ток в металле возникает под действием внешнего электрического поля, которое вызывает упорядоченное движение электронов.

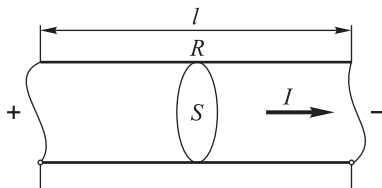
В других средах (полупроводники, диэлектрики, электролиты, газы и т. д.) в зависимости от природы носителей проводимость может быть иной. Линейная зависимость, выраженная законом Ома:  $I = U/R$ , соблюдается не во всех случаях.

При прочих равных условиях сопротивление проводника зависит от его геометрии и удельного электрического сопротивления материала, из которого он состоит.

Сопротивление однородного проводника постоянного сечения зависит от свойств вещества проводника, его длины, площади сечения и вычисляется по зависимости

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление проводника, Ом·м;  $l$  — длина проводника, м;  $S$  — площадь сечения проводника, м<sup>2</sup> (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема определения сопротивления проводника

Для измерения сопротивления используются такие цифровые приборы, как омметр, мультиметр и др.

*Сопротивлением* (резистором) также называют радиодеталь, предназначенную для введения в электрические цепи активного сопротивления.

*Резистор* — пассивный элемент электрических цепей, обладающий определенным или переменным электрическим сопротивлением, предназначенный для линейного преобразования тока в напряжение и напряжения в ток, для ограничения тока.

Резисторы являются элементами электронной аппаратуры и могут применяться как дискретные компоненты или как топологические элементы интегральных микросхем.

Дискретные резисторы классифицируют по назначению, характеру изменения сопротивления, виду вольт-амперной характеристики, способу монтажа, технологии изготовления.

По назначению выделяют резисторы:

- общего назначения;
- специального назначения.

По характеру изменения сопротивления резисторы подразделяют на:

- постоянные;
- переменные регулировочные;
- переменные подстроечные.

По виду вольт-амперной характеристики различают:

- линейные резисторы;
- нелинейные резисторы:
  - варисторы — сопротивление зависит от приложенного напряжения;
  - терморезисторы — сопротивление зависит от температуры;
  - фоторезисторы — сопротивление зависит от степени освещенности;
  - тензорезисторы — сопротивление зависит от деформации резистора;
  - магниторезисторы — сопротивление зависит от напряженности магнитного поля.

По способу монтажа выделяют резисторы:

- для поверхностного монтажа (на печатных платах);
- для навесного монтажа;
- для микромодулей и микросхем.

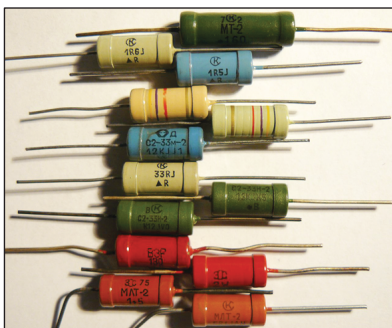
По технологии изготовления:

- проволочные резисторы — проволоку с высоким удельным сопротивлением наматывают на какой-либо каркас (рис. 2);
- металлопленочные и композитные резисторы — резистивным элементом являются тонкая пленка металлического сплава или композиционный материал с высоким удельным сопротивлением и низким коэффициентом термического сопротивления, нанесенные на цилиндрический керамический сердечник (рис. 3);

- резисторы в корпусах для поверхностного монтажа (рис. 4);
- интегральные резисторы — резистивным элементом является слаболегированный полупроводник, сформированный в кристалле микросхемы в виде зигзагообразного канала, изолированного от других цепей микросхемы  $p$ - $n$ -переходом (рис. 5).



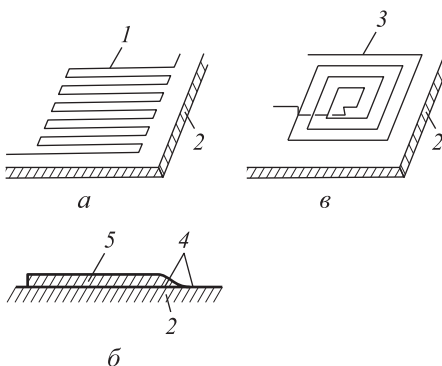
**Рис. 2.** Резистор без защитного слоя



**Рис. 3.** Металлопленочные резисторы



**Рис. 4.** Резистор в корпусе типа SMD для поверхностного монтажа



**Рис. 5.** Элементы интегральной микросхемы:  
*a* — резистор; *б* — конденсатор; *в* — индуктивность;  
*1* — резистивная пленка; *2* — подложка; *3* — проводящая пленка; *4* — металл; *5* — диэлектрик

В лабораторной работе исследования проводятся на металлопленочных резисторах (такие электрорадиоэлементы называют *компонентами, монтируемыми в отверстия*, — КМО) и резисторах в корпусах для поверхностного монтажа (их называют компонентами, монтируемыми на поверхности, — КМП).

Одним из основных параметров резистора является *номинальное сопротивление*  $R_{\text{ном}}$ . Это значение электрического сопротивления, указываемое на резисторе (или в нормативной документации) и необходимое для отсчета отклонения от этого значения. Реальное сопротивление  $R$  резистора отличается от номинального  $R_{\text{ном}}$ , что объясняется несовершенством технологических процессов, низким качеством применяемых материалов и т. д. Отклонение ограничивается допустимым значением (*допуском*)  $\Delta R$ , %:

$$\Delta R = R - R_{\text{ном}}$$

Допуски сопротивлений резисторов стандартизованы и выбираются из специальных рядов, рекомендованных Международной электротехнической комиссией. Каждый ряд имеет свой допуск отклонения реального значения от номинального: максимальный  $\pm 30\%$ , минимальный  $\pm 0,001\%$ .

Для маркировки номинального сопротивления резистора используют либо полное, либо кодированное обозначение.

Полное обозначение содержит:

- значение номинального сопротивления;
- единицы измерения: Ом — ом; кОм — килоом; МОм — мегаом; ГОм — гигаом (например: 231 Ом, 5,1 кОм, 1,0 МОм).

Кодированное обозначение состоит из трех или четырех знаков, включающих две либо три цифры или букву. Буква обозначает множитель, на который умножается числовое значение, и положение десятичного знака:

Р или Е — множитель 1 (сопротивление в омах);

К — множитель  $10^3$  (сопротивление в килоомах)

(например: К10 = 100 Ом, 5к1 = 5,1 кОм, R1 = 0,1 Ом, 51R = 51 Ом).

## Подготовка к работе

1. Внимательно прослушайте инструктаж по технике безопасности при работе с электронными приборами и электрооборудованием.

2. Соберите на рабочем месте лабораторный стенд (рис. 6–9).



**Рис. 6.** Структурная схема лабораторного стенда



**Рис. 7.** Стол лабораторный



**Рис. 8.** Вольтметр В7-38 (мультиметр) для измерения сопротивления резисторов



**Рис. 9.** Комплект зондов для измерения сопротивления резисторов

При проведении лабораторной работы необходимо соблюдать следующие требования техники безопасности.

- На поверхности наконечников зондов не допускается наличие коррозии, органических загрязнений.
- На поверхности контактов резистора не допускается наличие органических загрязнений.
- Зажимы зондов должны четко фиксировать контакт резистора.
- Контакт зонда с поверхностью контакта резистора должен обеспечить устойчивый сигнал.

### **Методика и порядок проведения эксперимента**

1. Получите образцы резисторов в количестве 10 шт. типа ОСС 5-5-1 и 10 шт. типа 1206.
2. Включите вольтметр и подождите 5–6 мин.
3. Подключите к разъемам вольтметра зонды.
4. Переключатель вольтметра поставьте в положение «кΩ».
5. Протрите салфеткой, смоченной этиловым спиртом, наконечники зондов и контакты резисторов и выдержите при комнатной температуре 10 мин.

6. Возьмите пинцетом резистор, положите его на поверхность антистатического коврика.

7. Плотно прижмите наконечники зондов к поверхности контактных площадок резистора.

8. Выдержите 1–2 с для стабилизации сигнала.

9. Запишите показания вольтметра в таблицу (см. ниже). Измерения сопротивления резистора проводите с точностью до третьего знака: 0,000.

№ п/п	Наименование резистора	$R_{\text{ном}}$	$\Delta R_{\text{ном}}$	Допуск	Примечание

10. Рассчитайте погрешность:

$$R_{\text{замера}} - R_{\text{ном}} = \Delta R_{\text{ном}}$$

11. Рассчитайте погрешность в процентах к  $R_{\text{ном}}$  по формуле

$$\frac{\Delta R_{\text{ном}}}{R_{\text{ном}}} \cdot 100 \%$$

12. Сравните значение, полученное в п. 11, и допуск резистора, указанный в документации на данную партию резисторов.

13. Сделайте сравнительный конструкторско-технологический анализ резисторов.

### **Порядок оформления отчета о лабораторной работе**

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) электромонтажная схема стенда и ее описание;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований;
- 7) выводы по итогам экспериментальных исследований.

## Контрольные вопросы

1. Что такое электрическое сопротивление?
2. Какие единицы применяются для измерения электрического сопротивления?
3. Что такое удельное электрическое сопротивление?
4. Какие единицы применяются для измерения удельного электрического сопротивления?
5. Сформулируйте закон Ома.
6. С помощью каких приборов измеряется электрическое сопротивление?
7. Что такое резистор?
8. Как классифицируются резисторы?
9. Что такое допуск сопротивления резистора?
10. Как осуществляется маркировка резисторов?



## Лабораторная работа № 3

### Анализ полупроводниковых структур

#### Введение

При выполнении лабораторной работы учащиеся знакомятся с полупроводниковыми структурами, их топологией и интегральной реализацией электрорадиоэлементов.

**Цель работы** — изучение размещения в кристалле полупроводниковых элементов и средств коммутации; ознакомление с топологией кремниевой структуры, обеспечивающей преобразование механической деформации в электрический сигнал.

Регистрация деформации осуществляется посредством кремниевого кристалла интегрального преобразователя давления (ИПД). На планарной стороне кристалла содержится интегральная схема преобразования механической энергии в электрический сигнал, состоящая из тензорезисторов, терморезисторов и биполярного транзистора, а на обратной стороне — вытравленная до определенной толщины чувствительная рабочая мембрана.

В процессе исследований учащиеся приобретают навыки идентификации полупроводниковых элементов электрической схемы, реализованной в кристалле, знакомятся с принципами компоновки элементов интегральной микросхемы, организации межэлементных электрических связей (межсоединений), особенностями формирования рабочей мембраны кристалла.

После выполнения работы учащиеся смогут составлять эскизы полупроводниковых топологий и восстанавливать электрические схемы по топологическому рисунку интегральной микросхемы, включая периферийные (монтажные) контактные площадки кристалла.

Цилиндрические слитки кремния, выращенные методом Чохральского, относятся к монокристаллическому кремнию. Слитки могут иметь монокристаллическую бездислокационную

структуру (число дислокаций не более 10 шт/см<sup>2</sup>), монокристаллическую структуру с линиями скольжения, двойниковую структуру (двух- и трехзеренные кристаллы), поликристаллическую структуру с мелким и крупным зерном.

В зависимости от условий выращивания слитки, имеющие в верхней (призатравочной) области бездислокационную структуру, могут прекращать бездислокационный рост, образуя сначала структуру с линиями скольжения (в ходе роста развивающиеся линии скольжения прорастают в бездислокационную часть слитка на длину, соответствующую диаметру слитка), а затем поликристаллическую структуру с постепенно уменьшающимся до 2...3 мм в поперечном сечении кристаллитами.

Двойниковые кристаллы, выращиваемые от двойниковых заготовок, изначально имеют на междвойниковой границе источники дислокаций. Поэтому в двойниковых кристаллах постепенно (на расстоянии около двух-трех диаметров слитка) развиваются существенные включения поликристаллических областей, постепенно поглощающих кристаллиты изначальной двойниковой структуры.

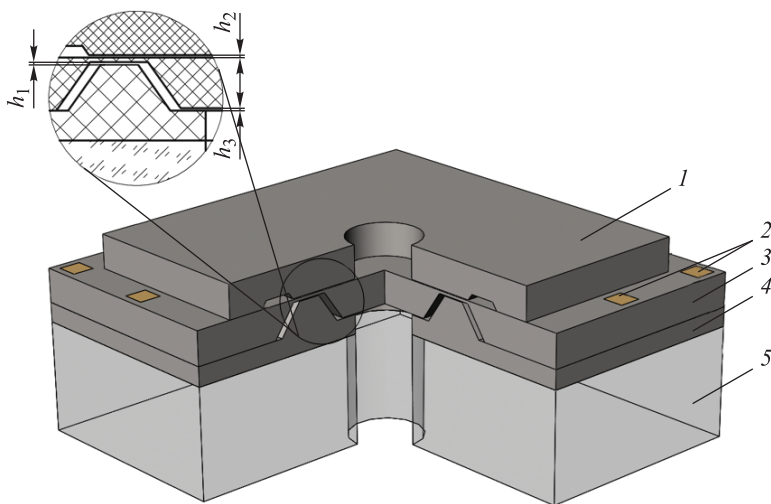
Выращенные кристаллы монокристаллического кремния подвергаются механической обработке. Как правило, механическая обработка слитков кремния ведется с использованием алмазного инструмента: ленточных пил, пильных дисков, шлифовальных профилированных и непрофилированных дисков, чаш. Имеется тенденция постепенного перехода от использования ленточных пил к проволочной резке алмазно-импрегнированной проволокой, а также проволочной резке стальной проволокой в карбидокремниевой суспензии.

При выполнении лабораторной работы учащиеся знакомятся с такими компонентами электроники, как *тензорезистор* — резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации; *терморезистор* — полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от температуры; *интегральный биполярный транзистор* — трехэлектродный полупроводниковый прибор.

В последнем устройстве электроды подключены к трем последовательно расположенным слоям полупроводника с чередующимся типом примеси, рабочая кремниевая мембрана получена

методом химического травления пластины кремния до определенной толщины с целью повышения чувствительности кристалла к приложению механической нагрузки.

Исследуемый полупроводниковый прибор предназначен для измерения *упругой деформации* — деформации, исчезающей после прекращения действия на тело внешних сил. При этом тело принимает первоначальные размеры и форму. Значение упругой деформации полностью определяется механическими напряжениями (нагрузками), т. е. является однозначной функцией напряжения. Для кремния эта зависимость прямо пропорциональная, поэтому кремний считается идеальным материалом для изготовления чувствительных элементов, позволяющих измерять такие переменные величины, как давление, перемещение, ускорение и т. д. Схема чувствительного элемента сенсорной системы представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема чувствительного элемента датчика дифференциального давления с упорами:

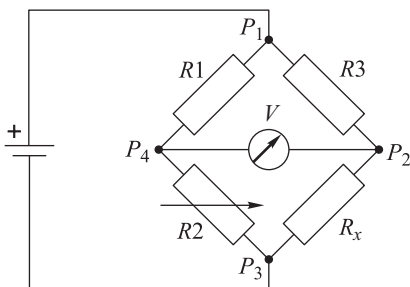
1 — верхний упор; 2 — контактные площадки; 3 — кристалл; 4 — нижний упор; 5 — подложка;  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  — зазоры между слоями

К мембране в периферийной неактивной области с двух сторон крепятся два стопорных элемента 1 и 4. Верхний упор имеет мень-

шую площадь по сравнению с площадью кристалла 3, чтобы была возможность вывести контактные площадки 2 за пределы верхнего упора. Учащиеся проведут исследование топологической структуры датчика давления средствами оптической микроскопии.

### Базовые понятия

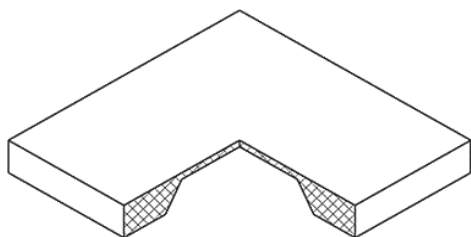
Кремниевый кристалл ИПД разработан как *чувствительный элемент* контрольно-измерительного инструмента, работающего на преобразовании упругой деформации кремниевой мембраны, возникающей под действием подаваемого на поверхность мембраны механического давления, в электрический сигнал при изменении сопротивления тензорезисторов, объединенных в измерительный мост Уинстона (рис. 2):



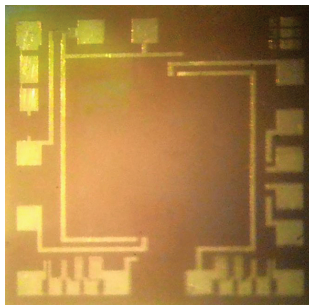
**Рис. 2.** Схема измерительного моста Уинстона:  
 $P_1$ – $P_4$  — характерные точки

*Принцип измерения* основан на уравнивании отношений сопротивлений в обоих плечах моста, при этом гальванометр, включенный между этими плечами, будет показывать нулевое напряжение. При подаче давления на мембрану на ее поверхности возникают упругие деформации, под действием которых начинают изменяться площадь поверхности тензорезисторов и их сопротивление. При изменении сопротивления резисторов мост приходит в состояние разбалансировки и в цепи между точками  $P_2$  и  $P_4$  появляется ток, называемый *выходным сигналом* чувствительного элемента. Зависимость этого сигнала от подаваемого давления имеет линейный характер.

Кремневый кристалл ИПД (рис. 3) имеет размеры 4×4 мм. Материалом для изготовления кристалла служит монокристаллический кремний КЭФ-4,5 (100). Тензорезисторы изготавливаются методом ионной имплантации бора 150...200 Ом/□, глубина слоя 2,5 мкм. Сопротивление резисторов тензомоста 5000...5500 Ом.



*a*



*б*

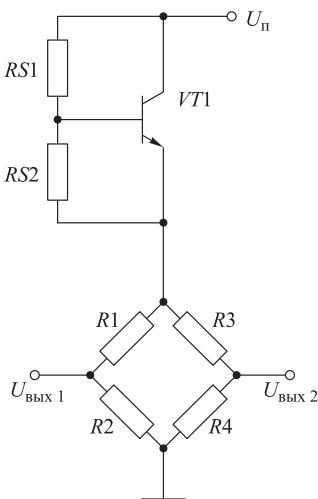
**Рис. 3.** Кристалл кремния ИПД:

*a* — с вытравленной мембраной; *б* — планарная сторона

Температурный резистор сформирован ионной имплантацией бора 2000 Ом/□. На кристалле также сформирован биполярный транзистор с целью термокомпенсации входного сигнала тензомоста. Компоненты схемы соединяются проводящими дорожками, сформированными методом диффузии бора 15...20 Ом/□ и металлизированными алюминием. Для подключения схемы кристалла к схеме обработки сигнала на поверхности кристалла изготавливаются контактные площадки, металлизированные алюминием.

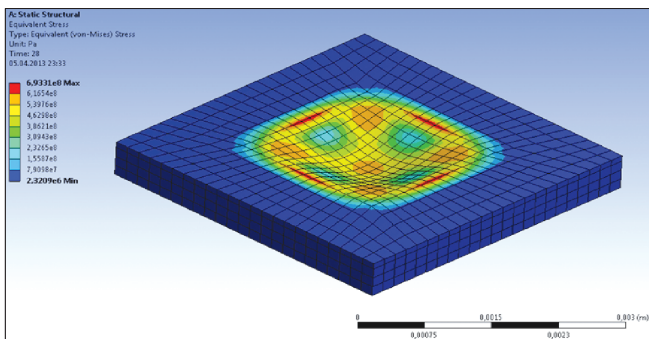
Размеры рабочей мембраны 2×2 мм, толщина 20...190 мкм. Кристаллы с стороны мембраны должны быть освобождены от диоксида кремния и нитрида кремния («чистый» кремний). Чистота поверхности необходима для обеспечения качественного герметичного соединения кристалла с деталями при сборке датчика давления.

Тензорезисторы  $R_1, R_2, R_3, R_4$  соединены между собой мостовой схемой, имеющей выходы к контактным площадкам  $U_{\text{вых1}}, U_{\text{вых2}}, -U_{\text{п}}$  и  $+U_{\text{п}}$  (рис. 4).



**Рис. 4.** Электрическая схема ИПД

В цепи между мостовой схемой и контактной площадкой  $+U_{\Pi}$  встроена транзисторная схема температурной компенсации чувствительности (транзистор  $VT1$  и резисторы  $RS1$  и  $RS2$ ). Тензорезисторы расположены на границе рабочей мембраны, в зоне максимального значения механической (упругой) деформации поверхности рабочей кремневой мембраны, попарно с целью повышения чувствительности (рис. 5), а транзистор расположен на периферии кристалла по одной линии с контактными площадками.



**Рис. 5.** Распределение значений упругой деформации по поверхности мембраны

Моделирование осуществляется с использованием пакетов САПР и сеточных методов анализа объектов среда — структура.

### **Подготовка к работе**

1. Внимательно прослушайте инструктаж по технике безопасности при работе с электронными приборами и электрооборудованием.

2. Проверьте комплектацию лабораторного стенда: микроскоп марки МБС, пинцет, образцы кремниевых кристаллов для измерения давления, эскиз электрической схемы кристалла.

### **Методика и порядок проведения эксперимента**

1. Включите микроскоп.

2. Поместите кристалл на предметный столик микроскопа таким образом, чтобы кристалл находился в световом пятне.

3. Отрегулируйте освещение и резкость для получения четкого изображения поверхности кристалла.

4. Составьте эскиз межсоединений, включая периферийные (монтажные) контактные площадки кристалла. Проводники (независимо от их ширины) можно изображать простыми линиями.

5. Перемещая тубус микроскопа и с помощью пинцета изменяя угол наклона кристалла, определите места расположения контактов из металла с отдельными областями элементов интегральной микросхемы. На эскизе межсоединений контакты обозначьте точками, указав их назначение (Э, Б, К — для транзистора, Р — для резистора).

6. Получите у руководителя работ электрическую схему кристалла и на своем эскизе нанесите элементы интегральной микросхемы в точках контакта, пометив их соответствующими обозначениями согласно обозначениям на схеме.

7. Начертите эскиз обратной стороны кристалла, укажите размеры.

8. Опишите состояние поверхности кремния.

## **Порядок оформления отчета о лабораторной работе**

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) схема стенда и ее описание;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований;
- 7) выводы по итогам экспериментальных исследований.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое измерительный мост Уинстона?
2. Что такое тензорезистор?
3. Что такое терморезистор?
4. Что такое транзистор?
5. С какой целью формируется рабочая мембрана на кристалле?
6. Как происходит процесс преобразования механической деформации в электрический сигнал?
7. Какая зависимость существует между толщиной мембраны и измеряемым давлением?
8. Что такое упругая деформация?



## Лабораторная работа № 4

### Исследование процесса получения проводящего рисунка методами фотолитографии

#### Введение

При выполнении лабораторной работы учащиеся знакомятся с понятием фотолитографии, в лабораторных условиях изучают лазерно-утюжную технологию. Эта технология является субтрактивной (проводящий рисунок изготавливают удалением материала с заготовки — фольгированного стеклотекстолита). Проводящий рисунок получается после травления меди с не защищенных маской участков заготовки. Роль маски выполняет тонер лазерного принтера, перенесенный на заготовку с глянцевой бумаги.

**Цель работы** — освоение технологий макетирования элементов электронной техники и принципов изготовления коммутационных структур на примере печатных плат из стеклотекстолита.

Во многих средних учебных заведениях имеются лаборатории цифрового производства (FAB LAB), где учащиеся могут создавать различные роботы, мехатронные системы и т. п. При проектировании прибора учащиеся исследуют различные аспекты работы устройства: поведенческую модель, функциональную и структурную схемы, электрическую принципиальную схему, дизайн корпуса, программу для микроконтроллера и т. д. Ключевым моментом реализации опытного образца устройства «в железе» можно считать сборку ячейки на печатной плате и ее наладку.

В заводских условиях штучное изготовление даже самых простых печатных плат является весьма дорогостоящим. Существует ряд задач, для решения которых требуется изготовление уникальных печатных плат, например:

- создание оснастки для тестирования электронных компонентов, узлов изготавливаемой электронной аппаратуры, особенно при мелкосерийном и опытном производстве;
- макетирование и прототипирование электронной аппаратуры и ее узлов на различных этапах проектирования;
- изготовление плат в учебных, научно-исследовательских и других целях;
- изготовление штучной неотчетливой аппаратуры по частным заказам частным или непрофильным подрядчиком, не имеющим собственного производства печатных плат;
- изготовление узлов электронной аппаратуры при ремонте в ситуациях, когда использование штатных узлов заводского производства затруднено или невозможно.

### Базовые понятия

Большинство печатных плат для промышленного применения производят химическим методом. При изготовлении плат в лабораторных условиях используют несколько упрощенный вариант этого метода — лазерно-утюжную технологию<sup>1</sup>. При данной технологии применяются известные относительно безвредные для экологии и здоровья человека вещества: кальцинированная сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , лимонная кислота  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  и поваренная соль  $\text{NaCl}$ .

Для изготовления печатной используется фольгированный диэлектрик. Чаще всего это стеклотекстолит толщиной 1,0...1,5 мм. Стандартная толщина слоя меди 35 мкм. Этого достаточно, чтобы обеспечить механическую прочность токопроводящих дорожек и относительную непродолжительность процесса удаления ненужного слоя меди при формировании токопроводящего рисунка схемы.

*Стеклотекстолит* — армированный стеклопластик, имеющий слоистую структуру, изготавливаемый прессованием стеклотканей при высоких температурах. Стеклоткани насыщены тер-

---

<sup>1</sup>Видеофильм об этапах лазерно-утюжной технологии можно посмотреть в сети Интернет: <http://vk.com/club242540>

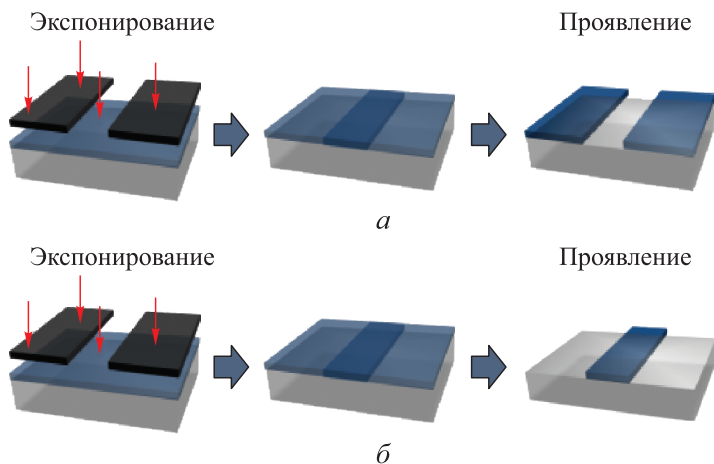
морреактивными компонентами на основе сочетания эпоксидной смолы и фенолформальдегидной составляющей. Строение материала необходимо учитывать при сверлении отверстий в плате, поскольку при повышении температуры в процессе сверления материал может расслаиваться и наволакиваться на сверло. Это приведет к повреждению металлизации дорожек, деформации отверстий и к таким дефектам платы, как обрыв или замыкание в схеме.

Для получения рисунка схемы на плате сначала этот рисунок с помощью лазерного принтера воспроизводят на бумаге типа LOMOND для лазерных принтеров. Эта бумага обладает такими нужными в данном случае свойствами, как прочность и хорошая адгезия к тонеру. При формировании рисунка схемы на металлизации стеклотекстолита надо, во-первых, сохранить металлизацию рисунка схемы, во-вторых, удалить излишки металлизации. Для этого применяют *фоторезист* — полимерный светочувствительный материал, который наносится на обрабатываемую поверхность при выполнении операции *фотолитографии* с целью получить соответствующий рисунку схемы доступ травящих веществ к поверхности металлизации заготовки платы. В лабораторных условиях используется сухой пленочный фоторезист марки СПФ.

Фоторезисты бывают позитивные и негативные. В *позитивных* фоторезистах области, подвергнутые экспонированию, становятся растворимыми и после проявления в проявителе разрушаются (рис. 1, а), а в *негативных* фоторезистах такие области полимеризуются и становятся нерастворимыми, так что после проявления растворяются только неэкспонированные области (рис. 1, б).

*Процесс экспонирования* заключается в обработке нанесенного слоя фоторезиста ультрафиолетовым излучением через бумагу с рисунком платы.

При использовании лазерно-утюжной технологии под *процессом проявления* понимают процесс отмытки фоторезиста раствором кальцинированной соды с поверхности платы: на поверхности остается рисунок схемы, закрытый слоем нерастворенного полимера.



**Рис. 1.** Формирование рисунка при использовании фоторезистов:  
*а* — позитивных; *б* — негативных

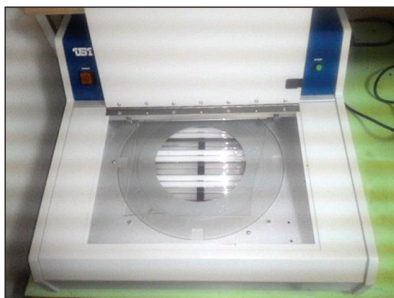
Для получения токопроводящего рисунка на поверхности платы затем необходимо стравить медь на незащищенных участках поверхности. Травление проводится раствором, состоящим из пероксида водорода, лимонной кислоты и поваренной соли.

### Подготовка к работе

1. Внимательно прослушайте инструктаж по технике безопасности при работе с электронными приборами и электрооборудованием.
2. Проверьте комплектацию лабораторного стенда: термошкаф (рис. 2, *б*), ламинатор (рис. 2, *а*), установка для обработки фоторезиста ультрафиолетовым излучением, микроскоп марки МБС, мультиметр.



*a*



*б*

**Рис. 2.** Элементы лабораторного стенда:  
*a* — ламинатор; *б* — источник ультрафиолетового излучения

3. Получите от руководителя заготовку фольгированного стеклотекстолита и рисунок электрической схемы на бумаге LOMOND.

### **Методика и порядок проведения эксперимента**

1. Очистите поверхность металлизации с помощью чистящего порошка «Пемолукс», промойте проточной водой и просушите в термощкафу при температуре 120 °С в течение 15 мин.

2. Соберите «топологический» пакет: возьмите лист бумаги формата А4, вырежьте заготовку фоторезиста размером чуть больше заготовки стеклотекстолита, снимите с одной стороны защитную пленку, этой стороной положите фоторезист на металлизацию и сверху положите лист бумаги А4.

3. Прокатайте собранный пакет через горячие валики ламинатора, плавно сняв с фоторезиста защитную пленку.

4. Снимите с поверхности фоторезиста бумагу.

5. Загрузите в рабочее пространство установки для обработки ультрафиолетовым излучением рисунок схемы, на нем разместите заготовку с фоторезистом.

6. Включите установку на 10 с и выключите ее.

7. Извлеките пакет из установки.

8. Приготовьте раствор кальцинированной соды: в 200 мл горячей воды температурой 60...70 °С растворите две столовые

ложки кальцинированной соды и размешайте раствор деревянной палочкой.

9. Полностью погрузите плату в раствор и с помощью щетинной кисти промойте ее от фоторезиста.

10. Промойте плату в проточной воде.

11. Промойте плату ацетоном с помощью бязевой салфетки.

12. Залейте в пластиковую ванночку 100 мл 3%-ного раствора пероксида водорода, добавьте 50 г лимонной кислоты и 10 г поваренной соли, тщательно размешайте раствор деревянной палочкой до полного растворения. Применяйте свежеприготовленный раствор.

13. Положите плату в раствор и, покачивая ванночку для постоянного обновления раствора над поверхностью платы, добейтесь полного удаления меди с незащищенных участков поверхности.

14. Промойте плату проточной водой, используя бязевую салфетку.

15. Просушите плату в термошкафу при температуре 120 °С в течение 15 мин.

16. Проверьте качество платы под микроскопом при 32-кратном увеличении: не допускается наличие остатков фоторезиста на поверхности металла между дорожками, «усов» металла около поверхности токопроводящей дорожки, отслоений металлизации дорожек.

17. Проверьте с помощью мультиметра электропроводность пространства между дорожками.

18. Составьте отчет о проделанной работе. В отчете опишите порядок выполнения операций и отразите результат проверки качества полученной коммутационной структуры.

### **Порядок оформления отчета о лабораторной работе**

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) схема стенда и ее описание;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 5) методика проведения измерений;

- 6) результаты экспериментальных исследований;
- 7) выводы по итогам экспериментальных исследований.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое печатная плата?
2. Что такое фольгированный стеклотекстолит?
3. Что такое фоторезист?
4. Приведите классификацию фоторезисторов.
5. Почему требуется тщательная очистка металлизации перед нанесением фоторезиста?
6. В чем заключается процесс проявки фоторезиста?
7. Каковы требования к качеству изготовленной печатной платы?

## Лабораторная работа № 5

### Исследование качества изготовления переходных отверстий в печатных платах

#### Введение

Объектом изучения является образец печатной платы с нанесенным рисунком токопроводящих дорожек. На токопроводящих дорожках платы необходимо очень аккуратно просверлить отверстия, проверить качество полученных отверстий с помощью микроскопа при 56-кратном увеличении, дать оценку качества.

*Оценка качества* — это совокупность операций, выполняемых с целью оценки соответствия конкретной продукции установленным требованиям. Требования устанавливаются в технических регламентах, стандартах, технических условиях, контрактах, технических заданиях на проектирование продукции. Носителем установленных требований могут быть также стандартные образцы, образцы-эталоны, товары-аналоги. Невыполнение требования является *несоответствием*.

**Цель работы** — анализ качественных характеристик монтажных отверстий печатных плат.

Низкое качество отверстий приводит к многочисленным дефектам слоя металлизации. Эти дефекты минимизируют, работая остро заточенными сверлами и принудительно их меняя, а также соблюдая режимы сверления (скорость резания и подачи, скорость извлечения сверла из отверстия).

Основной способ получения отверстий — сверление на сверлильном станке. Диаметр сверла подбирают в зависимости от ширины токопроводящей дорожки. Вокруг отверстия должен оставаться пояска металлизации для надежного соединения ножки элемента и материала дорожки.



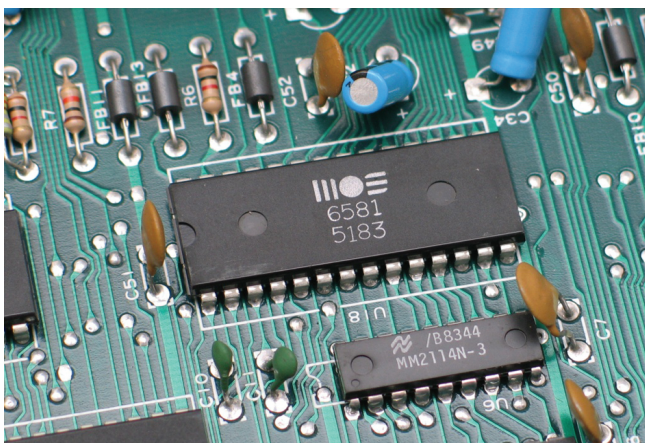
Качество просверленных отверстий оценивают по следующим показателям:

- минимальная длина заусенцев (не более 30 мкм) на входе и выходе сверла;
- отсутствие разрыва контактной площадки в зоне гарантированного пояaska в месте контакта;
- минимальный увод сверла на противоположной стороне заготовки;
- отсутствие наволакивания смолы на стенках отверстий.

### Базовые понятия

*Печатная плата* — пластина из диэлектрика, на поверхности которой сформированы электропроводящие цепи электронной схемы. Печатные платы (рис. 1) предназначены для электрического или механического соединения различных электронных компонентов. Выводы электронных компонентов на печатной плате соединяют с элементами проводящего рисунка обычной пайкой следующим образом:

- ножки компонента вставляют в металлизированное или неметаллизированное отверстие и соединяют с помощью флюса, припоя и паяльника (компоненты, монтируемые в отверстия, — КМО);



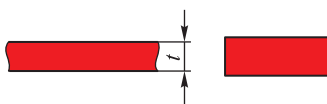
**Рис. 1.** Общий вид участка печатной платы

- ножки компонентов совмещают с соответствующими площадками на плате и соединяют с помощью флюса, припойной пасты и нагрева (компоненты, монтируемые на поверхности, — КМП).

Ниже определены основные понятия, используемые при исследовании качества отверстий в печатных платах.

*Печатный монтаж* — способ монтажа, при котором электрические соединения в электронном модуле выполнены с помощью печатных проводников.

*Печатный проводник* — одна проводящая полоска или площадка в проводящем рисунке (рис. 2).



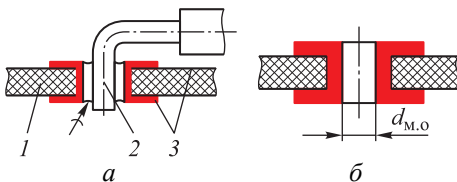
**Рис. 2.** Общий вид печатного проводника

*Ширина печатного проводника* — поперечный размер печатного проводника.

*Проводящий рисунок* — рисунок печатной платы, образованный проводниковым материалом (медь, никель и др.).

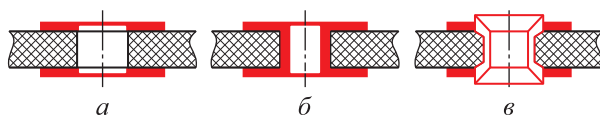
*Непроводящий рисунок* — рисунок печатной платы, образованный диэлектрическим материалом (гетинакс, стеклотекстолит, керамика на основе оксида алюминия  $Al_2O_3$ , диэлектрическая пленка и др.).

*Монтажное отверстие* — отверстие в печатной плате, используемое для ориентации и фиксации штыревых (осевых) выводов навесных элементов и электрического соединения их с проводящим рисунком (рис. 3).



**Рис. 3.** Схемы (а, б) монтажных отверстий:  
 1 — печатная плата; 2 — вывод; 3 — проводящий рисунок;  $d_{м.о}$  — диаметр монтажного отверстия

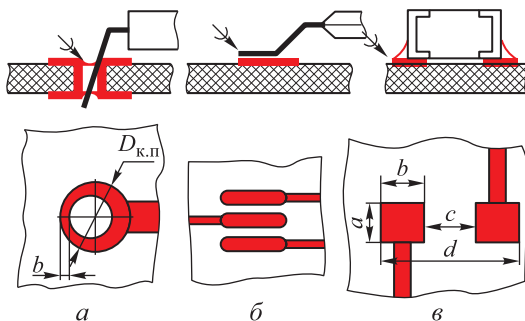
*Неметаллизированное монтажное отверстие* — отверстие, на стенках которого отсутствует проводниковый материал (рис. 4).



**Рис. 4.** Варианты (а, б, в) металлизированных монтажных отверстий

*Металлизированное монтажное отверстие* — отверстие с осажденным на стенках проводниковым материалом.

*Контактная площадка* — часть проводящего рисунка печатной платы, используемая для образования контактного соединения навесного элемента с печатным монтажом (рис. 5).



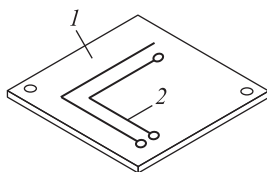
**Рис. 5.** Схемы контактных площадок:

а — в зоне монтажных и переходных отверстий;  
 б, в — для соединения планарных выводов интегральной микросхемы с печатным монтажом;  
 $D_{к.п}$  — диаметр контактной площадки; а, б, с, d — линейные размеры

*Гарантированный поясok в месте контакта* — элемент проводящего рисунка в зоне монтажных и переходных отверстий, характеризующий целостность контактной площадки.

Таким образом, теперь можем уточнить определение печатной платы.

*Печатная плата* — основание конечных размеров, содержащее необходимые отверстия и, по меньшей мере, один проводящий рисунок (рис. 6).



**Рис. 6.** Общий вид печатной платы:  
1 — основание; 2 — проводящий рисунок

*Материал основания печатной платы* — материал, на котором выполнен проводящий рисунок печатной платы.

*Фольгированный диэлектрик* — электроизоляционное основание печатной платы, покрытое медной фольгой (50; 18,0; 35,0; 50,0 мкм).

*Нефольгированный диэлектрик* — электроизоляционное основание печатной платы с нанесенным на поверхность адгезионным слоем.

### Подготовка к работе

1. Внимательно прослушайте инструктаж по технике безопасности при работе с электронными приборами и электрооборудованием, а также правила работы на сверлильном станке.
2. Проверьте комплектацию лабораторного стенда: станок сверлильный; микроскоп марки МБС; штангенциркуль.
3. Получите от руководителя заготовку фольгированного стеклотекстолита.

### Методика и порядок проведения эксперимента

1. Получите у руководителя работы образец печатной платы.
2. Замерьте ширину токопроводящей дорожки и выберите сверло диаметром на 0,1 мкм меньше.
3. Зажмите плату в тиски и просверлите отверстие.
4. Промойте плату ацетоном с помощью щетинной кисти.
5. Проверьте под микроскопом качество полученных отверстий, обращая внимание на следующие характеристики:
  - контур отверстия;

- наличие заусенцев;
- расслоение стеклотекстолита;
- наличие защитного пояса вокруг отверстия;
- наличие отслоения металлизации.

6. Определите причины возникновения дефектов отверстий каждого вида.

7. Заполните таблицу (см. ниже):

Номер образца	Вид и эскиз дефекта	Размеры дефекта	Причины возникновения дефекта

8. Составьте отчет о проделанной работе.

### **Порядок оформления отчета о лабораторной работе**

В отчете о выполненной работе должны быть представлены:

- 1) цель и задачи экспериментального исследования;
- 2) схема стенда и ее описание;
- 3) краткий конспект теоретической части;
- 5) методика проведения измерений;
- 6) результаты экспериментальных исследований;
- 7) выводы по итогам экспериментальных исследований.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите критерии оценки качества металлизированных отверстий, контактных площадок, печатных проводников, диэлектрического основания?
2. Назовите методы оценки качества металлизированных отверстий?
3. Каковы причины разрывов металлизации на кромках отверстий?
4. Каковы причины разрывов металлизации на стенках отверстий?
5. Каковы оптимальные режимы сверления отверстий?

## Лабораторная работа № 6

### Исследование точности параметров электрорадиоэлементов в электронных приборах

#### Введение

При выполнении лабораторной работы изучаются методы измерения точности параметров электрорадиоэлементов с последующим формированием кривой их погрешностей. Учащиеся получают навыки работы с электрорадиоизмерительными приборами и обработки результатов измерений.

**Цель работы** — изучение методов оценки точности параметров электрорадиоэлементов и статистической обработки результатов.

На базе кремниевых интегральных преобразователей давления разрабатываются датчики давления. Давление является одной из переменных величин, описывающих поведение жидких или газообразных сред. Почти 70 % всех измерений, выполняемых в науке, промышленности и сельском хозяйстве, связано с измерением давления, расхода и количества веществ. От точности и надежности измерения этих основных рабочих параметров зависят ценность результатов исследований, качество технологических процессов, оптимальность режимов работы и др.

Первичным звеном в системах контроля и управления, определяющих надлежащее функционирование машин, механизмов и систем, обеспечивающих протекание процессов, являются датчики давления. Они предоставляют данные о давлении сжатого воздуха, газа, пара, масла и других жидкостей. Общепромышленные датчики давления используются в нефтяной и газовой промышленности для измерения гидростатического напора и распределения давления в скважинах, в нефте- и газопроводах, на перерабатывающих заводах. В атомных энергетических установках

датчики давления применяют для измерения и контроля параметров жидкометаллического теплоносителя, а также параметров основных технологических процессов. Помимо этого датчики давления используются в химической, пищевой и бумажной промышленности, в судостроении, станкостроении, ракетной технике, авиации, на транспорте, в медицине, биофизике, термодинамике, аэродинамике, акустике, гидромеханике, геофизике и т. д.

### **Базовые положения**

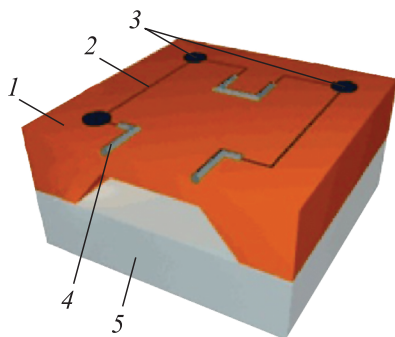
Благодаря уникальным свойствам монокристаллический кремний активно применяется при создании чувствительных элементов высокоточных, малогабаритных датчиков давления, перемещения, угловой скорости, ускорения и т. д. Монокристаллический кремний обладает идеальной упругой характеристикой: если к пластине из монокристаллического кремния приложить силу, а затем ее снять, пластина восстановит свои габариты. Кремний является базовым материалом при изготовлении планарных транзисторов и интегральных микросхем. Указанные свойства монокристаллического кремния привлекли к нему внимание разработчиков тензорезистивных датчиков давления.

Для повышения *чувствительности* кремниевой мембраны ее вытравливают до определенной толщины: чем меньше измеряемое давление, тем тоньше должна быть мембрана. Чувствительный элемент такого датчика давления представляет собой кристалл монокристаллического кремния толщиной 450 мкм и размером 4×4 мм. На планарной стороне кристалла формируется интегральная схема, состоящая из тензорезисторов, соединенных в измерительный мост Уинстона.

В этой схеме, пока плечи моста уравновешены, тока в цепи не будет, но как только сопротивление резистора одного плеча изменится, в цепи появится ток, имеющий прямолинейную характеристику.

*Пьезорезистивными* называют монокристаллические кремниевые датчики с диффузионными пьезорезисторами, в которых упругим элементом служит кремниевая мембрана. Эта мембрана закреплена на стеклянном основании, на ней имеется мост Уинстона,

преобразующий деформацию мембраны в электрический сигнал. Однако в данном случае мембрану изготавливают из монокристаллического кремния, а вместо тензорезисторов используют сформированные методом диффузии пьезорезисторы (рис. 1).



**Рис. 1.** Конструкция пьезорезистивного датчика:

1 — контактные площадки; 2 — металлизация; 3 — монокристаллический кремний; 4 — диффузионный резистор; 5 — стеклянное основание

Достоинства пьезорезистивных датчиков — малый гистерезис, стойкость к вибрации и однородность упругой мембраны, обеспечивающая стабильность параметров. Малые размеры позволяют конструировать миниатюрные датчики.

### Подготовка к работе

1. Внимательно прослушайте инструктаж по технике безопасности при работе с электронными приборами и электрооборудованием.

2. Проверьте комплектацию лабораторного стенда: задатчик давления, компрессор, источник питания постоянного тока, мультиметр.

3. Ознакомьтесь с работой приборов для измерения давления.



4. Соберите простейшую электрическую схему для измерения напряжения цепи.

5. Подключите датчик к источнику давления — задатчику давления, обеспечив герметичность соединения.

### **Методика и порядок проведения эксперимента**

1. Проверьте герметичность подсоединения датчика через переходник к задатчику давления.

2. Подсоедините через переходную колодку датчик к источнику питания и мультиметру.

3. Подайте на датчик питание 5 В.

4. Запишите показания мультиметра в милливольтках.

5. Подайте давление 160 кПа и запишите показания мультиметра в милливольтках.

6. Повторите действия, описанные в пп. 4 и 5, не менее пяти раз.

7. Подавая давление на кремниевую мембрану датчика и затем сбрасывая его до нуля, проследите за изменением выходного сигнала датчика. Прделав эти операции несколько раз, отметьте, изменяются ли показания мультиметра, и если изменяются, насколько.

8. По результатам наблюдений сделайте вывод, действительно ли кремниевая мембрана обладает идеально упругими свойствами.

9. Проанализируйте повторяемость показаний мультиметра.

10. Составьте отчет о проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое монокристаллический кремний?

2. В чем заключаются уникальные свойства монокристаллического кремния?

3. Что такое измерительный мост Уинстона?

4. Как формируется измерительная мембрана на кристалле и от чего зависит чувствительность кристалла?
5. В чем различие между тензорезистивными и пьезорезистивными чувствительными элементами?
6. С помощью каких приборов измеряется давление?
7. Опишите электрическую схему для снятия выходного сигнала датчика.
8. Что такое давление воздуха?

## Литература

*Адамов А.П., Ирзаев Г.Х., Адамова А.А.* Методологические основы обеспечения технологичности электронных средств. СПб.: Политехника, 2008. 312 с.

*Власов А.И., Елсуков К.А., Косолапов И.А.* Оптическая микроскопия: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 184 с. (Б-ка «Наноинженерия»: в 17 кн. Кн.12).

*Власов А.И., Елсуков К.А., Косолапов И.А.* Электронная микроскопия: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 280 с.

*Власов А.И., Назаров А.В.* Основы моделирования микро- и наносистем: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 144 с. (Б-ка «Наноинженерия»: в 17 кн. Кн.14).

*Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н.* Проектирование коммутационных структур электронных средств: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 344 с. (Б-ка «Конструирование и технология электронных средств»: в 25 кн. Кн. 7).

*Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И., Чердаков Е.А.* Методические указания к лабораторным работам по курсу «Технология производства ЭВА». М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1983. 38 с.

*Гриднев В.Н., Скворцов К.Ф.* Методические указания к домашнему заданию по курсу ТПС и ТП ЭВА. М.: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1981. 32 с.

*Гриднев В.Н., Яншин А.А.* Технология элементов ЭВА. М.: Высш. шк., 1978. 288 с.

*Денисов А.А., Кальнов В.А., Шахнов В.А.* Проектирование наносенсоров: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 128 с. (Б-ка «Наноинженерия»: в 17 кн. Кн. 6).

*Журавлева Л.В.* Основы радиоэлектроники. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Издат. центр «Академия», 2015. 240 с.

*Журавлева Л.В.* Основы электроматериаловедения. М.: Издат. центр «Академия», 2015. 288 с.

Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; под общ. ред. В.А. Шахнова. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 568 с. (Информатика в техническом университете).

*Маркелов В.В., Кабаева А.С.* Управление качеством электронных средств: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 272 с. (Б-ка «Конструирование и технология электронных средств»: в 25 кн. Кн. 2).

Проведение научных экспериментов в нанотехнологии: учеб. пособие / под ред. В.А. Шахнова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. 129 с.

*Ревич Ю.В.* Занимательная электроника. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 672 с.

Системный анализ в управлении предпринимательскими организациями / под общ. ред. А.П. Адамова. СПб.: Политехника, 2002. 251 с.

Физика: учеб. пособие для 10 кл. общеобразоват. учреждений: базовый уровень / под ред. К.Ю. Богданова. М.: Просвещение, 2008. 224 с.

Электроника: справочная книга / Ю.А. Быстров, Я.М. Великсон, В.Д. Вогман и др.; под ред. Ю.А. Быстрова. СПб.: Энергоатомиздат, 1996. 544 с.

## Содержание

Предисловие.....	3
<b>Лабораторная работа № 1.</b> Анализ электрических цепей с применением электронного конструктора.....	4
<b>Лабораторная работа № 2.</b> Исследование параметров сопротивлений .....	19
<b>Лабораторная работа № 3.</b> Анализ полупроводниковых структур.....	29
<b>Лабораторная работа № 4.</b> Исследование процесса получения проводящего рисунка методами фотолитографии .....	37
<b>Лабораторная работа № 5.</b> Исследование качества изготовления переходных отверстий в печатных платах .....	44
<b>Лабораторная работа № 6.</b> Исследование точности параметров электрорадиоэлементов в электронных приборах...	50
Литература .....	55

Лабораторные работы для обучающихся образовательных организаций, представленные в настоящем сборнике, проводятся на базе кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (ИУ-4) в рамках реализации «Технического лабораторного практикума — школьным инженерным классам».

Кафедра осуществляет подготовку бакалавров и магистров по направлению «Конструирование и технология электронных средств». Также кафедра ведет подготовку специалистов на Радиотехническом факультете.

В составе кафедры функционирует НОЦ «Нанотехнологические системы и наноэлектроника», СКБ «Сенсорные системы», российско-французский центр компетенции по встраиваемым системам STMicroelectronics. Работают студенческие СКБ «Робототехнические системы» и «FAB LAB-центр прототипирования».

Область профессиональной деятельности выпускников: применение новых информационных технологий для проектирования сложных технических систем; анализ и синтез электронно-вычислительной и радиоэлектронной аппаратуры с заданными свойствами; системное конструкторско-технологическое проектирование бытовой и бортовой электронной аппаратуры; проектирование и производство микросхем и микромодулей; нанотехнологии, системы и средства наноинженерии; наладка, испытание и эксплуатация радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры; построение систем автоматизированного управления бизнес-процессами проектирования и производства; ремонт и обслуживание электронно-вычислительной и радиоэлектронной аппаратуры; сетевые и телекоммуникационные технологии; организация сервисного обслуживания; сертификация электронной аппаратуры; системы автоматизированного проектирования и компоненты CALS-технологий; эргономика и дизайн электронно-вычислительной и радиоэлектронной аппаратуры.

Кафедра сотрудничает с ведущими отечественными предприятиями, в том числе организациями оборонно-промышленного комплекса (ОПК): ОАО «Альтоника», ООО «МНПО «Спектр», ОАО «НИЦЭВТ», НТЦ «Промтехаэро», МЦ SPARC-технологий, ОАО «Завод счетно-аналитических машин им. В.Д. Калмыкова», ФГУП «НПЦ АП» им. академика Н.А. Пилюгина», ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева» ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга», ОАО «НПП «Геофизика-Космос», ОАО «ОКБ МЭИ», ФКП «НИИ Геодезия», ФГУП «ЦНИИ АГ», ОАО «КБточмаш им. А. Э. Нудельмана», ОАО «КБ машиностроения», ОАО «Раменское ПКБ», ОАО «НПО «ЛЭМЗ», ОАО «ЗОМЗ», ОАО «Ил», ОАО «НПО Прибор», ОАО «ГСКБ «Алмаз-Антей» им. академика А.А. Расплетина».

*Учебное издание*

**Адамова** Арина Александровна  
**Власов** Андрей Игоревич  
**Косовский** Антон Владимирович  
**Цивинская** Татьяна Анатольевна

## **Основы конструкторско-технологической информатики в радиоэлектронике**

Редактор *Е.К. Кошелева*  
Художник *Я.М. Ильина*  
Компьютерная графика *Т.Ю. Кутузовой*  
Компьютерная верстка *Е.В. Жуковой*

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подписано в печать 29.02.2016. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 3,75. Тираж 100 экз. (1-й з-д 1–80). Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
[www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

## Целевой набор в МГТУ им. Н.Э. Баумана

---

---

Ежегодно в МГТУ им. Н.Э. Баумана выделяются бюджетные места для целевого набора, который осуществляется в интересах ведущих организаций оборонно-промышленного комплекса (ОПК), подведомственных Министерству промышленности и торговли РФ (Минпромторг), Федеральному космическому агентству (Роскосмос) и Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (Росатом), реализуя систему непрерывного профессионального образования школа — вуз — работодатель.

Целевой прием абитуриентов осуществляется по отдельному конкурсу в соответствии с квотой целевого приема в рамках контрольных цифр приема в высшие учебные заведения на текущий год. К участию в целевом конкурсе допускаются абитуриенты, предоставившие оригиналы документов и договор о целевом обучении, заключенный с организацией ОПК.

Конкурс на целевые места осуществляется по сумме баллов ЕГЭ или внутренних экзаменов, проводимых вузом самостоятельно.

### **Для зачисления в МГТУ им. Н.Э. Баумана необходимо:**

- успешное прохождение конкурса на целевые места (рекомендация к зачислению);
- заявление о зачислении в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Все практики и дипломное проектирование во время обучения целевые студенты проходят в организациях, заключивших с абитуриентами договор о целевом обучении. После окончания МГТУ им. Н.Э. Баумана выпускники будут обязательно трудоустроены в ведущих организациях Роскосмоса, Минпромторга, Росатома.

### **Преимущества целевой подготовки:**

- гарантированное трудоустройство выпускников университета;
- возможность совмещения обучения в университете и работы по специальности на старших курсах;
- дополнительные меры социальной поддержки за счет предприятия-работодателя при обучении в вузе;
- прохождение практик, стажировок, дипломного проектирования на будущем месте работы.

Получить информацию об организациях, участвующих в целевом приеме, а также более подробно ознакомиться с условиями целевого набора можно на сайте: <http://cendop.bmstu.ru/target/>, в отделе целевого набора Центра довузовской подготовки (комн. 357, Главный учебный корпус МГТУ им. Н.Э. Баумана), по электронной почте «[cdp-target@bmstu.ru](mailto:cdp-target@bmstu.ru)», а также по телефонам 8-499-263-68-12, 8-499-263-61-39.