

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

Факультет «Электроника и автоматика»
Кафедра «Теоретическая электротехника и электронные технологии»

На правах рукописи

Гуламов Жамолiddин Мухитдинович

**СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ**

Выпускная квалификационная работа

на соискание степени бакалавра по направлению
5523300 – «Нанотехнологии (наноматериалы, электронные приборы и
устройства)»

Заведующей кафедрой:

доц. Абидов К.Г.

Руководитель:

доц. Саидумаров И.М.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛАХ	7
1.1. Температурные зависимости концентрации в собственном полупроводнике.....	7
1.2. Температурные зависимости концентрации в донорном полупроводнике.....	9
1.3. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.....	13
1.4. Основные сведения о кристаллическом строении.....	15
1.5. Основные физико-химические и электрофизические свойства....	17
1.6. Применение в полупроводниковых приборах и ИС.....	19
1.7. Проводимость полупроводников	21
1.8. Преимущества и недостатки методов исследования проводимости полупроводников.....	22
1.9. Определение подвижности	23
1.10. Факторы, определяющие подвижность	24
1.11. Постановка задачи исследования	25
ГЛАВА II. СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ.....	26
2.1. Разработка лабораторного стенда по определению концентрации носителей заряда в полупроводнике.....	26
2.2. Руководство по эксплуатации.....	27
2.3. Определению концентрации носителей заряда в полупроводнике	27
2.4. Электрические свойства кремния с нанокластерами атомов марганца	36

2.5. Обработка результатов измерений	41
2.6. Контрольные вопросы	42
ЗАКЛЮЧЕНИЯ	45
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	46
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	63

ВВЕДЕНИЕ

Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с разработкой и освоением новых материалов, в частности полупроводниковых. Именно материалы стали ключевым звеном, определяющим успех многих инженерных решений при создании сложнейшей электронной аппаратуры. Практика постоянно предъявляет все более жесткие и разнообразные требования к свойствам и сочетанию свойств у материалов, поэтому растет их количество и номенклатура. В настоящее время число наименований материалов, применяемых в электронной технике для различных целей, составляет несколько тысяч, значительную часть которых составляют полупроводниковые материалы.

К полупроводникам относится большое количество веществ с электронной электропроводностью, удельное сопротивление которых при нормальной температуре находится между значениями удельного сопротивления проводников и диэлектриков. Основной особенностью полупроводников является их способность изменять свои свойства под влиянием различных внешних воздействий (изменение температуры и освещения, приложение электрического и магнитного полей, внешнего давления и т.д.). Свойства полупроводников очень сильно зависят от содержания примесей, при введении которых изменяется не только значение проводимости, но и характер ее температурной зависимости.

Особенно бурное развитие переживает полупроводниковая электроника в последние четыре десятилетия. Массовое применение полупроводников вызвало коренное преобразование в радиотехнике, кибернетике, автоматике, телемеханике. Совершенствование полупроводниковой технологии позволило решить задачу микроминиатюризации и интеграции электронной аппаратуры.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка лабораторного стенда по определению концентрации носителей заряда в полупроводнике.

ГЛАВА I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛАХ

1.1. Температурные зависимости концентрации в собственном полупроводнике

В зависимости от степени чистоты полупроводники подразделяют на собственные и примесные. Собственный полупроводник – это полупроводник, в котором можно пренебречь влиянием примеси.

Примесный полупроводник – это полупроводник, электрофизические свойства которого в основном определяется примесями. Примеси, обуславливающие преимущественно электронную проводимость, называют донорами, а дырочную – акцепторами.

В случае Ge и Si примесями первого вида служат элементы V группы (с большей валентностью): As, P, Sb.

В собственном полупроводнике уровень Ферми располагается посередине запрещенной зоны $E_F = -\frac{\Delta E_0}{2}$. Следовательно

$$n = \nu_n e^{\frac{-\Delta E_0}{2kT}}; \quad p = \nu_p e^{\frac{-\Delta E_0}{2kT}}. \quad (1.1)$$

Тогда

$$n_i = p_i = \sqrt{np} = \frac{2}{\eta^3} \left(\frac{kT \sqrt{m_n m_p}}{2\pi} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\frac{-\Delta E_0}{2kT}} \quad (1.2)$$

Из полученных выражений следует, что равновесная концентрация носителей заряда в собственных полупроводниках определяется шириной запрещенной зоны и температурой. Для графического изображения температурной зависимости n_i выражение (1.1) удобно представить в виде

$$\ln n_i = \ln \sqrt{\nu_n \nu_p} - \frac{\Delta E_0}{2kT} \quad (1.3)$$

Произведение $v_n v_p$ слабо зависит от температуры. Поэтому зависимость $\ln n_i$ от $\frac{1}{2kT}$ близка к линейной, причем наклон прямой линии характеризует ширину запрещенной зоны полупроводника ΔE_0 .

Рассмотрим примесный полупроводник.

В широком диапазоне температур и для различного содержания примесей имеют место температурные зависимости концентрации носителей заряда в полупроводнике n-типа, показанные на рис. 1.1. Проанализируем его:

а) N_{D1} – малая концентрация доноров. В области низких температур увеличение концентрации электронов при нагревании полупроводника обусловлено возрастанием степени ионизации доноров (участок 1–4). Каждый ионизированный донор можно рассматривать как центр, захвативший дырку, наклон прямой на участке 1–4 характеризует *энергию ионизации примесей*.

При дальнейшем повышении температуры при некоторой температуре (точка 4) все электроны с примесных уровней будут переброшены в зону проводимости. При этом вероятность ионизации собственных атомов полупроводника еще очень мала. Поэтому в достаточно широком температурном диапазоне (участок 4–6) концентрация носителей заряда остается постоянной и практически равной концентрации доноров. Этот участок называется *областью истощения примесей*.

При относительно высоких температурах (участок кривой за точкой 6) происходит переход в *область собственной проводимости* (перебросы электронов из валентной зоны через запрещенную в зону проводимости).

Крутизна кривой определяется шириной запрещенной зоны.

При повышении N_D ($N_{D2} > N_{D1}$) кривые температурной зависимости смещаются вверх.

1.2. Температурные зависимости концентрации в донорном полупроводнике

Донорный полупроводник характеризуется электронной проводимостью. Для него выполняется соотношение $n_n \gg p_{n0}$. Положение уровня Ферми в полупроводниках n – типа при различных температурах имеет вид, представленный на рис. 1.2.

При этом наблюдаются следующие закономерности:

а) в области низких температур ($kT < \Delta E_d$)

$$E_F = \frac{\Delta E_d}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{N_d}{v_n} ;$$

при $T=0$ К, $E_F = -\frac{\Delta E_d}{2}$

б) в области средних температур (в области истощения примесей)

$$E_F = kT \ln \frac{N_d}{v_n} \quad (1.4)$$

в) в области высоких температур (в области перехода к собственной проводимости)

$$E_F = -\frac{\Delta E_0}{2} + \frac{kT}{2} \ln \frac{v_p}{v_n} \approx \frac{\Delta E_0}{2} \quad (1.5)$$

Зная положение уровня Ферми в зависимости от температуры можно получить зависимость концентрации основных носителей от температуры.

В области низких температур

$$n = (N_d v_n)^{1/2} e^{-\frac{\Delta E_d}{2kT}} \quad (1.6)$$

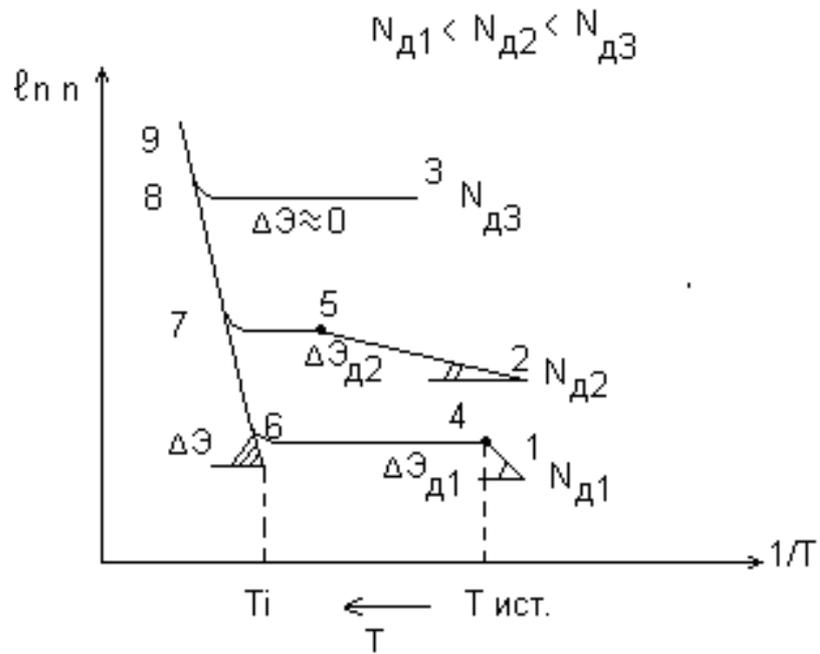


Рис. 1.1. График зависимости $\ln n$ от $1/T$ для примесного полупроводника.

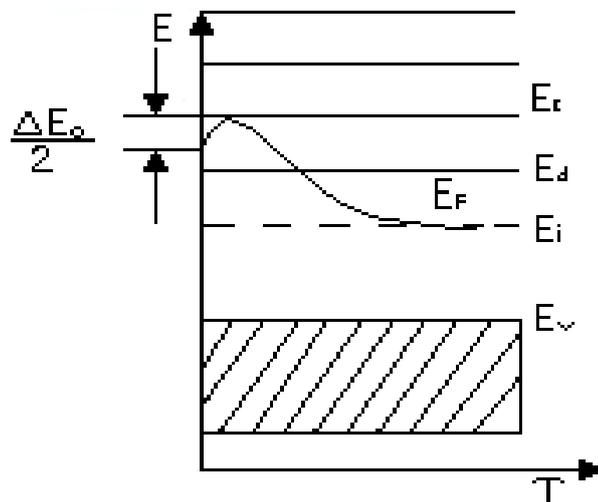


Рис. 1.2. Положение уровня Ферми в полупроводниках n – типа.

В области истощения примесей $n = N_d$. Зависимость концентрации основных носителей от температуры представлена на рис. 1.3. В области низких температур ($0 - T_1$) возрастание концентрации электронов связано с переходом электронов в зону проводимости с донорных уровней (происходит ионизация примесных атомов). При этом возрастание концентрации электронов характеризуется смещением уровня Ферми на рис ближе к дну зоны проводимости.

Температурный интервал $T_1 - T_2$ называется областью истощения примеси;

T_1 – нижней температурной границей истощения примеси, T_2 – верхней температурной границей истощения примеси. В этом интервале $n = N_d$. Концентрация же неосновных носителей в этом интервале резко возрастает, что вытекает из закона действующих масс:

$$n_n p_{n0} = n_i^2 = v_n v_p e^{\frac{-\Delta E_0}{kT}}; \quad n_n = N_d; \quad p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_d} = \frac{v_n v_p e^{\frac{-\Delta E_0}{kT}}}{N_d} \quad (1.7)$$

Процесс характеризуется смещением уровня Ферми от дна зоны проводимости к валентной зоне. В области температур $T > T_2$ увеличение концентрации свободных электронов происходит за счет перехода их из валентной зоны в зону проводимости (происходит ионизация атомов основного вещества). При этом уровень Ферми располагается, как и в собственном полупроводнике, посередине запрещенной зоны. С увеличением концентрации примеси участка кривых, соответствующие примесной проводимости, смещаются вверх, что следует из формулы (1.6). Кроме того, с увеличением N_d уменьшается расстояние между примесными атомами, что приводит к более сильному взаимодействию электронных оболочек примесных атомов и расщеплению дискретных энергетических уровней в примесные зоны. Соответственно уменьшается энергия ионизации примесей $\Delta E_d'' < \Delta E_d'$.

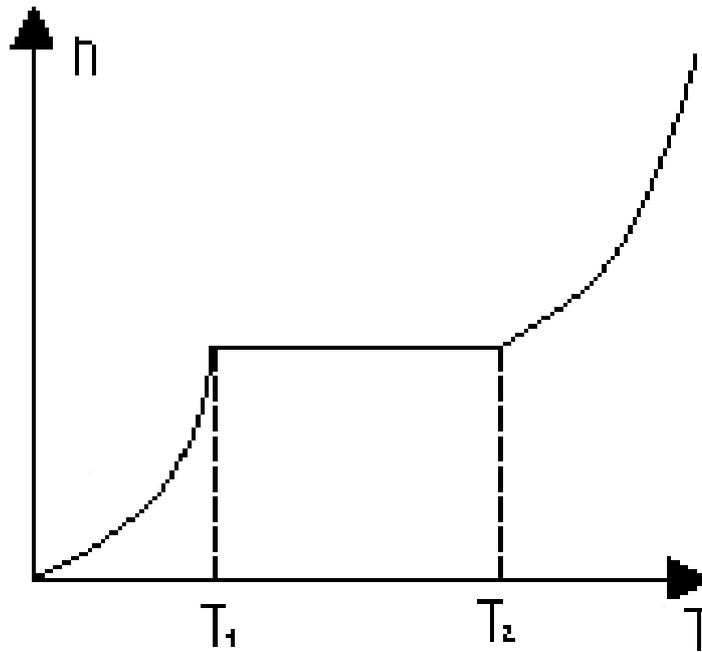


Рис. 1.3. График зависимости концентрации основных носителей от температуры.

При достаточно большой концентрации доноров (N_d^m) их энергия ионизации обращается в нуль, так как образовавшаяся примесная зона перекрывается зоной проводимости. Такой полупроводник является вырожденным. Концентрация электронов в вырожденном полупроводнике n – типа постоянна во всем диапазоне примесной проводимости. Вырожденный полупроводник способен проводить электрический ток даже при очень низких температурах. Перечисленные свойства роднят вырожденные полупроводники с металлами. Поэтому их иногда называют полуметаллами.

Все рассмотренные закономерности аналогичным образом проявляются в полупроводниках p-типа.

1.3 Температурная зависимость подвижности носителей заряда

Температурную зависимость подвижности носителей $\mu(T)$ определяют различные механизмы рассеяния:

- ❖ на тепловых колебаниях атомов или ионов кристаллической решетки (на фононах);
- ❖ на примесных атомах (ионизированных и нейтральных);
- ❖ на дефектах кристаллической структуры (дислокациях, вакансиях, границах зерен и т.п.);
- ❖ на поверхности материала (механизм, имеющий основное значение для тонких пленок).

Основными механизмами рассеяния являются первые два.

Рассеяние носителей заряда на фононах.

При этом механизме рассеяния длина свободного пробега λ обратно пропорциональна температуре $\lambda \sim \frac{1}{T}$. В соответствии с классической статистикой тепловая скорость носителей заряда определяется выражением $\langle V \rangle \sim T^{1/2}$. Обозначив через μ_T подвижность, обусловленную рассеянием

носителей заряда на фононах, получим $\mu_T \sim \frac{\lambda}{\langle V \rangle} \sim \frac{1/T}{\sqrt{T}} = T^{-3/2}$, т.е. подвижность уменьшается с ростом температуры.

Рассеяние на тепловых колебаниях решетки играет доминирующую роль при повышенных температурах. В области пониженных температур основное значение имеет рассеяние на примесных атомах.

Рассеяние на ионизированных примесных атомах

При этом каждый ионизированный атом создает вокруг себя кулоновское поле, ослабленное по сравнению с вакуумом в ϵ раз. Движущиеся носители заряда, попадая в область действия этого поля, испытывают кулоновское взаимодействие, вследствие чего искривляют свою первоначальную траекторию. Чем больше суммарная скорость движения носителей, тем меньше времени он пребывает вблизи заряженного атома, тем ниже эффективность рассеяния. Длина свободного пробега носителей растет с увеличением скорости их движения по закону

$$\lambda \sim E^2 \sim \langle V^4 \rangle \quad (1.8)$$

Существенное влияние на рассеяние оказывает и концентрация ионизированных примесей N_n . Чем больше количество ионов, тем меньше расстояние между ними и тем ближе должны проходить носители относительно заряженного центра. Поэтому λ обратно пропорциональна концентрации примеси

$$\mu_n \sim \frac{\lambda}{\langle V \rangle} \sim \frac{\langle V \rangle^4}{N_n \langle V \rangle} \sim \frac{\langle V \rangle^3}{N_n} \sim \frac{T^{3/2}}{N_n} \quad (1.9)$$

В случае преобладания рассеяния носителей заряда на ионизированных примесях подвижность μ_n возрастает с ростом температуры. Если в рассеянии

носителей заряда участвуют оба механизма, то результирующая подвижность

может быть найдена с помощью соотношения $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_T} + \frac{1}{\mu_n}$.

В диапазоне малых температур с повышением температуры уменьшаются тепловые скорости хаотического движения носителей заряда, что приводит к увеличению времени пребывания носителя вблизи иона примеси, т.е. увеличивается длительность воздействия электрического поля иона примеси на носитель заряда. Поэтому в диапазоне малых температур с уменьшением температуры подвижность носителей также уменьшается.

Температурная зависимость подвижности $\mu(T)$ выражается кривой с отчетливо выраженным максимумом, как показано на рис. 1.4 для различных концентраций примесных атомов. С увеличением концентрации примесей максимум подвижности уменьшается и смещается в сторону более высоких температур.

При очень низких температурах, когда примеси слабо ионизированы, рассеяние носителей заряда происходит на нейтральных атомах примеси. При наличии только этого механизма рассеяния подвижность не зависит от температуры, а определяется только концентрацией примеси. Использовались источники [1, 2].

1.4. Основные сведения о кристаллическом строении

Германий (Ge) и кремний (Si) – элементы 4-й группы периодической системы элементов – образуют кристаллы по правилу 8-N. Следовательно, по правилу 8-N для насыщения связей каждый атом в кристалле должен быть связан с четырьмя соседними атомами.

Каждые два соседних атома имеют два общих электрона, вращающихся вокруг обоих ядер.

Для материалов характерен ковалентный тип связи, которая прочна и поэтому валентные кристаллы отличаются высокой температурой плавления,

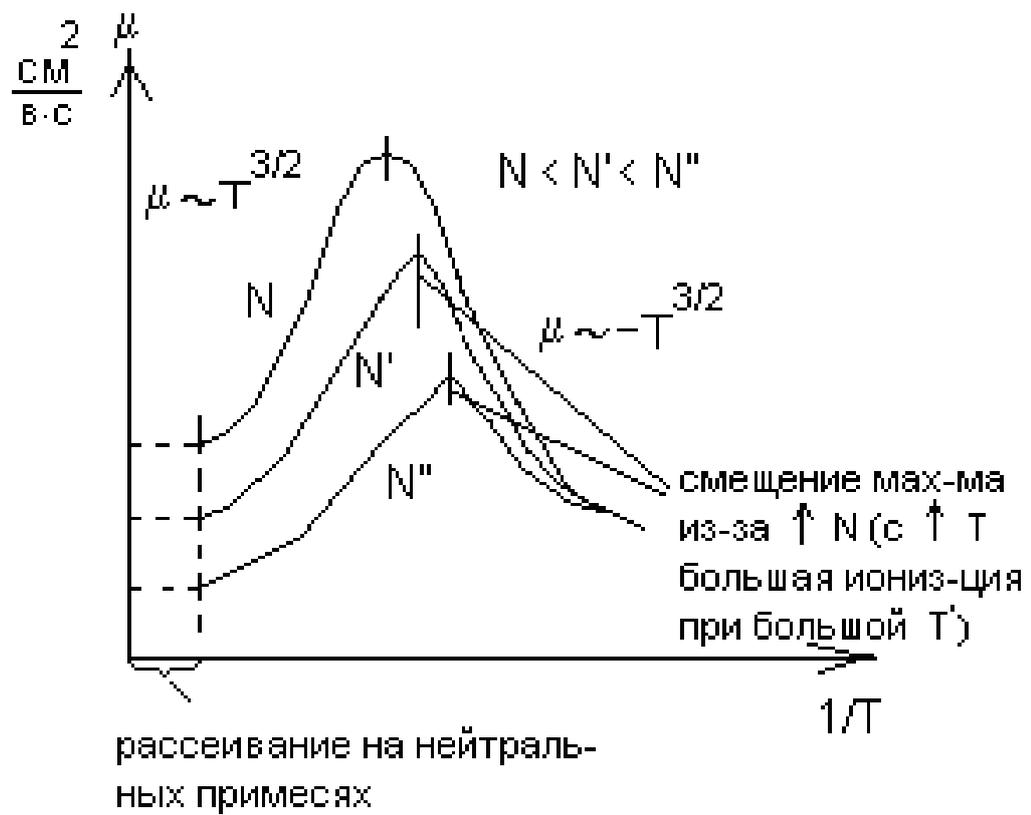


Рис. 1.4. Температурная зависимость подвижности при различных концентрациях примеси.

большой твердостью и малой летучестью. Кремний является вторым по распространенности элементом земной коры – его содержание в ней по массе составляет 27,6%. В природе кремний встречается только в соединениях в виде окисла и в солях кремниевых кислот. Чистота природной окиси кремния в виде монокристаллов кварца достигает 99,99%; в ряде месторождений чистота песка – 99,8...99,9%.

Германий является редким сильно рассеянным элементом; германий не имеет своих руд; в ничтожных количествах германий содержится в цинковых рудах, в каменном угле, золе, саже и морской воде.

Содержание его в земной коре $\sim 7 \times 10^{-4}$ %.

1.5. Основные физико-химические и электрофизические свойства

Чистый германий обладает металлическим блеском, характеризуется относительно высокими твердостью и хрупкостью. Подобно кремнию он кристаллизуется в структуре алмаза (таблица 1.1).

Кристаллический германий химически устойчив на воздухе при комнатной температуре. При нагревании на воздухе до температуры выше 650 °С он окисляется с образованием двуокиси GeO_2 . В большинстве случаев образующаяся двуокись германия представляет собой смесь аморфной и гексагональной модификаций, которые обладают заметной растворимостью в воде.

Из-за нестабильности свойств собственный окисел на поверхности германия, в отличие от собственной окисла кремния, не может служить надежной защитой материала при проведении процессов планарной технологии (фотолитографии и локальной диффузии).

Германий обладает относительно невысокой температурой плавления (936 °С) и ничтожно малым давлением насыщенного пара при этой температуре. Отмеченное обстоятельство существенно упрощает технику кристаллизационной очистки и выращивания монокристаллов. Даже в расплавленном состоянии германий практически не взаимодействует с

графитом и кварцевым стеклом, что позволяет использовать их в качестве тиглей и лодочек при проведении металлургических процессов.

Таблица 1.1

Основные физико-химические свойства германия и кремния гексагональной модификации

Свойства	Германий	Кремний
Период решетки * 10, нм	5,66	5,42
Плотность при 20 ⁰ С, Мг/м ³	5,3	2,3
Температурный коэффициент линейного расширения (0-100 ⁰ С), К ⁻¹	6*10 ⁻³	4,2*10 ⁻⁴
Удельная теплопроводность Вт/(м*К)	55	80
Удельная теплоемкость (0-100 ⁰ С), Дж/(кг*К)	333	710
Температура плавления, ⁰ С	936	1414
Теплота плавления, Дж/кг	4,1*10 ⁵	1,6*10 ⁶
Коэффициент поверхностного натяжения при температуре плавления, Н/М	0,6	0,72
Собственное удельное сопротивление при температуре 20 ⁰ С, Ом*м	0,47	2*10 ⁻³
Собственная концентрация носителей заряда, м ⁻³	2,5*10 ¹⁹	10 ¹⁶
Ширина запрещенной зоны, эВ при 0 К	0,746	1,165
...при 300 К	0,665	1,12
Подвижность электронов, м ² /(В*с)	0,39	0,14
Подвижность дырок, м ² /(В*с)	0,19	0,05
Работа выхода электронов, эВ	4,8	4,3
Первый ионизационный потенциал	8,1	8,14
Диэлектрическая проницаемость	16	12,5

Жидкий германий обладает способностью интенсивно поглощать водород, предельная растворимость которого в твердой фазе не превышает, однако, $4 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$, причем водород является электрически нейтральной примесью.

Ширина запрещенной зоны германия и кремния изменяется с температурой по линейному закону: $\Delta E_0(T) = \Delta E_0(300\text{K}) - 3,9 \times 10^{-4} \times T$ (эВ). В

нормальных условиях чистый Ge прозрачен для электромагнитного излучения с $\lambda > 1.8 \text{ мкм}$, чистый Si – для излучения с $\lambda > 1.1 \text{ эВ}$.

1.6. Применение в полупроводниковых приборах и ИС

В начале развития полупроводниковой технологии широкое применение получил германий. Этому способствовали более низкая температура плавления, а значит более доступная технология очистки, а также высокая подвижность носителей заряда в веществе. В дальнейшем была усовершенствована технология получения и очистки кремния и в настоящее время кремний – базовый материал при изготовлении пленарных транзисторов и ИС.

Кремний имеет следующие преимущества перед германием:

а) большая ширина запрещенной зоны ΔE_0 , что обеспечивает более

низкие концентрации собственных и неосновных носителей $\left(\sim e^{-\frac{\Delta E_0}{2kT}} \right)$. Это дает возможность создавать резисторы с более высокими номиналами; обеспечивать меньшие токи утечки в p-n-переходе; использовать более высокие рабочие температуры и удельные нагрузки;

б) кремний более устойчив к загрязнениям поверхности;

в) пленка SiO_2 имеет коэффициенты диффузии примесей меньше, чем кремний, и обеспечивает маскирующие и пассивирующие свойства.

Германий используется для изготовления большого числа полупроводниковых приборов: выпрямительных диодов (на прямые токи 0,3... 1000 А при падении напряжения не более 0,5 В), лавинно – пролетных и туннельных диодов, варикапов, точечных высокочастотных, импульсных и СВЧ-диодов. В импульсных диодах для достижения высокой скорости переключения требуется материал с малым временем жизни неравновесных носителей заряда. Для этой цели используют Ge, легированный золотом.

Германий используется для изготовления сплавных биполярных транзисторов с граничной частотой 600 МГц. Нанесение пленочной изоляции из SiO_2 позволяет изготавливать Ge – транзисторы по планарной технологии.

Благодаря относительно высокой подвижности германий применяется для изготовления датчиков Холла.

Оптические свойства германия позволяют использовать его для изготовления фотодиодов, фототранзисторов, оптических линз с большой светосилой (для ИК-лучей), оптических фильтров, модуляторов света, а также счетчиков ядерных частиц.

Рабочий диапазон температур германиевых приборов $-60 \dots +70$ °С.

Кремний применяется практически для всех типов полупроводниковых приборов и интегральных схем: диодов (выпрямительных, импульсных, СВЧ и др), биполярных транзисторов (низкочастотных, высокочастотных, мощных, маломощных), полевых транзисторов, приборов с зарядовой связью. Плоскостные Si-диоды могут выдерживать обратные напряжения до 1500 В и пропускать ток в прямом направлении до 1500 А. Рабочие частоты планарных транзисторов могут достигать 10 ГГц.

Из кремния изготавливают большинство стабилитронов и тиристоров. Кремниевые стабилитроны в зависимости от степени легирования материала имеют напряжение стабилизации от 3 до 400 В.

Широкое применение находят кремниевые фоточувствительные приборы, особенно фотодиоды с высоким быстродействием. Спектр фоточувствительности кремниевых фотодетекторов (0,3...1,1 мкм) хорошо согласуется со спектром излучения многих полупроводниковых источников света.

Кремниевые фотоэлементы для преобразования солнечной энергии в электрическую (солнечные батареи) используются в системах энергоснабжения космических аппаратов и имеют к.п.д. $\approx 10 \dots 12\%$.

Кремний, легированный литием, используется для детекторов ядерных излучений. Кремний используется также для изготовления датчиков Холла и

тензодатчиков. В тензодатчиках используется сильная зависимость удельного сопротивления от механических деформаций.

Верхний температурный предел работы Si-приборов – 180...200 °С. Приборы на кремнии отличаются большой надежностью.

Использовались источники [1 – 5].

1.7. Проводимость полупроводников

При приложении электрического поля к однородному полупроводнику в последнем протекает электрический ток. При наличии двух типов свободных носителей – электронов и дырок – проводимость σ полупроводника будет определяться суммой электронной σ_n и дырочной σ_p компонент проводимости $\sigma = \sigma_n + \sigma_p$.

Величина электронной и дырочной компонент в полной проводимости определяется классическим соотношением:

$$\sigma_n = \mu_n n_0 q, \quad \sigma_p = \mu_p p_0 q, \quad (1.10)$$

где μ_n и μ_p – подвижности электронов и дырок соответственно.

Для легированных полупроводников концентрация основных носителей всегда существенно больше, чем концентрация неосновных носителей, поэтому проводимость таких полупроводников будет определяться только компонентой проводимости основных носителей. Так, для полупроводника n-типа:

$$\sigma = \sigma_n + \sigma_p = \sigma_n. \quad (1.11)$$

Величина, обратная удельной проводимости, называется удельным сопротивлением:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\sigma_n + \sigma_p} = \frac{1}{\sigma_n}. \quad (1.12)$$

Здесь ρ – удельное сопротивление, обычно измеряемое в единицах [Ом·см]. Для типичных полупроводников, используемых в производстве интегральных схем, величина удельного сопротивления находится в диапазоне $\rho = (1 \div 10) \text{ Ом} \times \text{см}$ [6 – 8].

В отраслевых стандартах для маркировки полупроводниковых пластин обычно используют следующее сокращенное обозначение типа: КЭФ – 4,5. В этих обозначениях первые три буквы обозначают название полупроводника, тип проводимости, наименование легирующей примеси. Цифры после букв означают удельное сопротивление, выраженное во внесистемных единицах, – Ом·см. Например, ГДА – 0,2 – германий, дырочного типа проводимости, легированный алюминием, с удельным сопротивлением $\rho = 0,2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$; КЭФ – 4,5 – кремний, электронного типа проводимости, легированный фосфором, с удельным сопротивлением $\rho = 4,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

1.8. Преимущества и недостатки методов исследования проводимости полупроводников

При определении электропроводности методом термозонда в отличие от метода Холла нельзя вычислить подвижности дырок и электронов, т.е. методом термозонда невозможно определить какие-нибудь точные значения. Но метод термозонда уступает методу Холла в простоте определения типа электропроводности, нет сложных просчетов и сам опыт не предоставляет собой довольно сложные лабораторные исследования. Недостатком метода вольтамперной характеристики является то, что при определении проводимости этим методом желательно, чтобы поверхность образца полупроводника была шероховатой (шлифованной), а не полированной, т. к. при шлифованной поверхности осциллограмма более четко выражена и по ней легче определить тип проводимости образца [9 – 11].

1.9. Определение подвижности

Под действием внешнего электрического поля носители заряда приобретают некоторую скорость направленного движения (скорость дрейфа) и создают электрический ток [12, 13]. Отношение средней установившейся скорости направленного движения к напряженности электрического поля называют подвижностью носителей заряда:

$$\mu = \bar{v} / E . \quad (1.13)$$

В полупроводниках следует различать подвижность электронов μ_n и подвижность дырок μ_p . С учетом двух типов носителей заряда выражение плотности тока принимает вид:

$$J = en_0\mu_n E + ep_0\mu_p E, \quad (1.14)$$

где n_0 и p_0 – равновесные концентрации электронов и дырок в полупроводнике.

С помощью закона Ома легко получить формулу для удельной проводимости полупроводника:

$$\gamma = en_0\mu_n + ep_0\mu_p. \quad (1.15)$$

В примесных полупроводниках, как правило, одним слагаемым из выражения можно пренебречь. Например, при достаточно большой концентрации доноров в полупроводнике вклад дырок в электропроводность ничтожно мал. В большинстве случаев подвижность дырок меньше подвижности электронов [14 – 17].

1.10. Факторы, определяющие подвижность

Согласно экспериментальным данным у некоторых полупроводников подвижность носителей заряда может быть на несколько порядков больше, чем у металлов, то есть электроны в плохо проводящих кристаллах могут двигаться более свободно, чем в металлах [18 – 21].

Дрейфовая скорость, а значит и подвижность носителей заряда, тесно связаны с их длиной свободного пробега в кристалле:

$$\mu = \frac{e}{m^*} \cdot \tau_0 = \frac{e}{m^*} \cdot \frac{\bar{l}}{\bar{u}}, \quad (1.16)$$

где m^* – эффективная масса носителей заряда; \bar{u} – тепловая скорость.

Большая подвижность может быть обусловлена малой эффективной массой носителя заряда m^* и большим значением временем свободного пробега или точнее времени релаксации τ_0 . В полупроводниках эффективная масса носителей заряда может быть как больше, так и меньше массы свободного электрона.

Время релаксации, характеризующее уменьшение тока после снятия поля, определяется процессами рассеяния движущихся в полупроводниках электронов. Чем больше частота столкновений и чем они интенсивнее, тем меньше время релаксации, а следовательно, и подвижность.

При комнатной температуре средняя скорость теплового движения свободных электронов \bar{u} в невырожденном полупроводнике около 10^5 м/с.

Причинами рассеяния носителей заряда в полупроводниках, по-разному влияющими на температурную зависимость подвижности, являются:

1. тепловые колебания атомов или ионов кристаллической решетки;
2. примеси в ионизированном или нейтральном состоянии;
3. дефекты решетки (пустые узлы, искажения, вызванные атомами внедрения, дислокации, трещины, границы кристаллов и т.д.).

1.11. Постановка задачи исследования

Практика постоянно предъявляет все более жесткие и разнообразные требования к свойствам и сочетанию свойств у материалов, поэтому растет их количество и номенклатура. В настоящее время число наименований материалов, применяемых в электронной технике для различных целей, составляет несколько тысяч, значительную часть которых составляют полупроводниковые материалы [22 – 25].

К полупроводникам относится большое количество веществ с электронной электропроводностью, удельное сопротивление которых при нормальной температуре находится между значениями удельного сопротивления проводников и диэлектриков. Основной особенностью полупроводников является их способность изменять свои свойства под влиянием различных внешних воздействий (изменение температуры и освещения, приложение электрического и магнитного полей, внешнего давления и т.д.). Свойства полупроводников очень сильно зависят от содержания примесей, при введении которых изменяется не только значение проводимости, но и характер ее температурной зависимости.

Поэтому разработка экспериментального прибора по определению концентрации носителей заряда в полупроводнике является важной проблемой.

Задачами данной работы является изучение зависимости ЭДС Холла в полупроводниковом образце от напряженности магнитного поля, а также определение концентрации носителей заряда и электропроводность образца.

Для решения этой задачи необходимо разработать лабораторный стенд по определению концентрации носителей заряда в полупроводнике.

ГЛАВА II. СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОНЦЕНТРАЦИИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

2.1. Разработка лабораторного стенда по определению концентрации носителей заряда в полупроводнике

Квалификационная выпускная работа выполнена на кафедре «Теоретическая электротехника и электронные технологии» факультета «Электроника и автоматика» Ташкентского Государственного технического университета имени А.Р. Беруни.

Эффект Холла относится к группе гальваномагнитных явлений и заключается в том, что под действием магнитного поля, перпендикулярного к электрическому току, электроны в материале отклоняются перпендикулярно как направлению электрического тока, так и магнитного поля. С помощью эффекта Холла стало возможным понять суть процессов проводимости в полупроводниках и провести грань между полупроводниками и другими типами плохо проводящих материалов. Это обусловлено тем, что измерение ЭДС (разности потенциалов) Холла, возникающей в материале перпендикулярно направлению электрического тока и внешнего магнитного поля, дает возможность непосредственно определить концентрацию и знак носителей заряда. Последнее позволяет определить принадлежность материала к тому или иному типу полупроводников (p или n -типа). Измерения эффекта Холла дают возможность отделить случай ионной проводимости от случая электронной проводимости. Наличие эффекта Холла в проводниках и полупроводниках свидетельствует об электронном характере проводимости. С помощью эффекта Холла возможно получить данные и о подвижности носителей заряда (так называемая «холловская» подвижность). Таким образом, эффект Холла – один из наиболее эффективных методов исследования электрических свойств полупроводниковых материалов.

2.2. Руководство по эксплуатации

Источник питания – лабораторная стенд должна подключаться только к источнику питания 220-250 В переменного напряжения, 50 Гц.

Если вы неуверенны относительно типа электропитания в вашем помещении, проконсультируйтесь с вашей местной энергетической службой.

Сетевой шнур – не пытайтесь выдернуть шнур питания из установки и сильно не перегибайте его в месте выхода из установки.

Принадлежности, не помещайте вставку на неустойчивую опору. Он может упасть и привести к травме.

При повреждении или неправильной работе установки – отключите установку от сети и предоставьте осмотр квалифицированному специалисту:

- если шнур питания или двигатель повреждены;
- если в установку попали посторонние предметы;
- если установка повреждена при ударе.

Не включать установку без преподавателя. Во время проведения лабораторных работ предельно осторожно и внимательно выполнять указания преподавателя.

2.3. Определение концентрации носителей заряда в полупроводнике

Наблюдение эффекта Холла сводится к измерению поперечной ЭДС, возникающей между узкими сторонами пластинки под действием магнитного поля. По сути это внешнее напряжение, необходимое для того, чтобы электрический ток был направлен точно по оси, например, вдоль длины образца. Пусть образец имеет форму прямоугольной пластинки длиной l , шириной d , толщиной b (рис. 2.1).

Если вдоль длины образца (ось Y) пропустить электрический ток I , вдоль оси X приложить магнитное поле B , то в направлении, перпендикулярном I и B (ось Z), возникает электрическое поле,

называемое полем Холла с напряженностью $E_{холл}$.

На практике, как правило, поле Холла характеризуют разностью потенциалов, которую измеряют между симметричными точками C и D на боковых поверхностях образца.

Эта разность потенциалов называется холловской разностью потенциалов $U_{холл}$ или ЭДС Холла. В классической теории проводимости эффект Холла объясняется тем, что в магнитном поле на движущиеся электрические заряды действует сила Лоренца, величина и направление которой определяется векторным уравнением:

$$\vec{F} = e[\vec{v}_D \vec{B}], \quad (2.1)$$

где B – индукция магнитного поля, v_D – дрейфовая скорость движения зарядов, e – заряд носителей тока с учетом знака, « $+e$ » – для дырочной проводимости, « $-e$ » – для электронной проводимости.

Таким образом, дрейф электронов будет иметь составляющую не только по оси Y , но и по оси Z . При этом дрейф электронов вдоль оси Z будет продолжаться до тех пор, пока возникающее электрическое поле E_x не уравнивает силу Лоренца.

Электрическое поле Холла

$$E_{холл} = v_D B \quad (2.2)$$

связано с Холловской разностью потенциалов $U_{холл}$ следующим образом:

$$U_{холл} = E_{холл} d = v_D B d. \quad (2.3)$$

Сила тока, протекающего через единицу поверхности образца, т.е. плотность тока, равна:

$$j = en v_D, \quad (2.4)$$

где n – число носителей тока в единице объема образца (концентрация носителей тока), то сила тока

$$I = jbd = en v_D bd, \quad (2.5)$$

что позволяет записать:

$$v_D = \frac{I}{enbd} \quad (2.6)$$

и

$$U_{холл} = \frac{IB}{enb}. \quad (2.7)$$

Таким образом, ЭДС Холла пропорциональна силе тока через образец I и обратно пропорциональна толщине образца b .

Экспериментальное определение ЭДС Холла проводят на образце с заданной толщиной b при фиксированном токе через образец. Формула (2.7) может быть записана в виде:

$$U_{холл} = R \left(\frac{IB}{b} \right), \quad (2.8)$$

где коэффициент пропорциональности

$$R = \frac{1}{en} \quad (2.9)$$

является характеристикой изучаемого вещества и называется коэффициентом

Холла или постоянной Холла. Из уравнения (2.9) видно, что коэффициент Холла обратно пропорционален концентрации носителей заряда и его знак совпадает со знаком носителя заряда. Измеряя в ходе эксперимента разность потенциалов $U_{холл}$, индукцию магнитного поля B , ток I и толщину образца b , можно, исходя из формулы (2.8), вычислить постоянную Холла:

$$R = U_{холл} \frac{b}{IB}. \quad (2.10)$$

Рассмотрим далее, как меняется знак $U_{холл}$ в зависимости от знака носителей заряда. На рис. 2.2 проводящая пластина изображена в плоскости листа, магнитное поле B направлено к нам, перпендикулярно листу, ток I течет по стрелке.

Если носители тока – электроны, то направление их дрейфовой скорости будет противоположно направлению тока. При таком направлении скорости в указанном магнитном поле на электрон будет действовать сила Лоренца, направленная вниз. Верхняя грань проводящей пластины должна заряжаться положительно, а нижняя – отрицательно.

На рис. 2.2, б видно, что в случае положительных носителей заряда (при том же направлении тока) меняется направление дрейфовой скорости зарядов, а направление силы Лоренца остается той же, т.е. в этом случае вниз будут отклоняться положительные заряды. Именно это и позволяет экспериментально определить знак носителей заряда в проводящей пластине. Направление поля Холла зависит от знака носителей заряда. В нашем случае в полупроводниковой пластине n -типа поле Холла направлено вверх, а в случае полупроводника p -типа – вниз. Таким образом, по знаку Холловской разницы потенциалов определяется знак постоянной Холла и, соответственно, знак носителей заряда.

Теперь, исходя из формулы (2.9), можно вычислить концентрацию носителей заряда в полупроводнике:

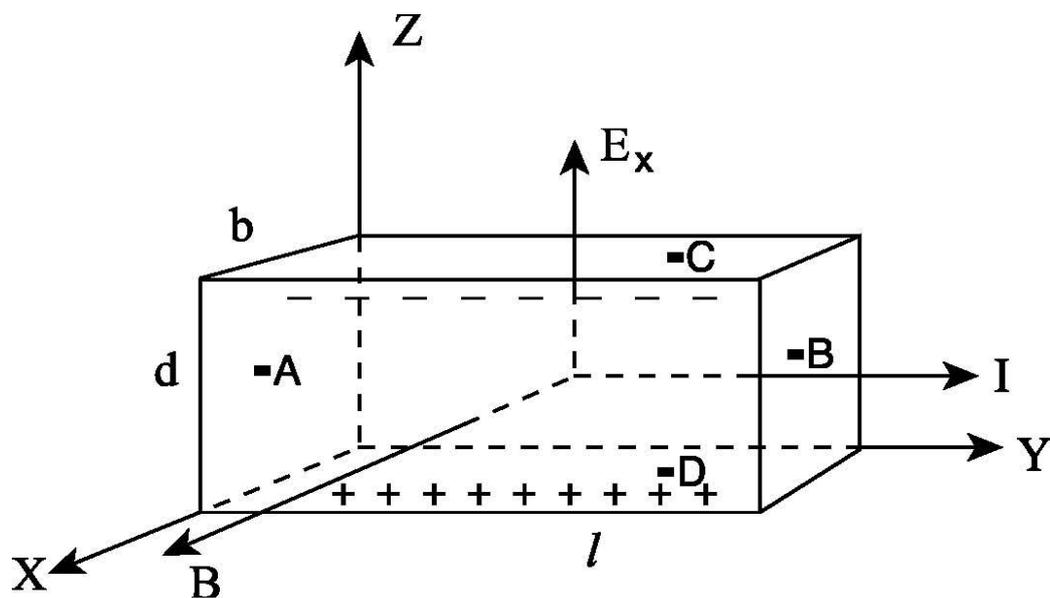


Рис. 2.1. Ориентация тока, индукции магнитного поля и напряженности Холловского поля в полупроводниковой пластине P -типа.

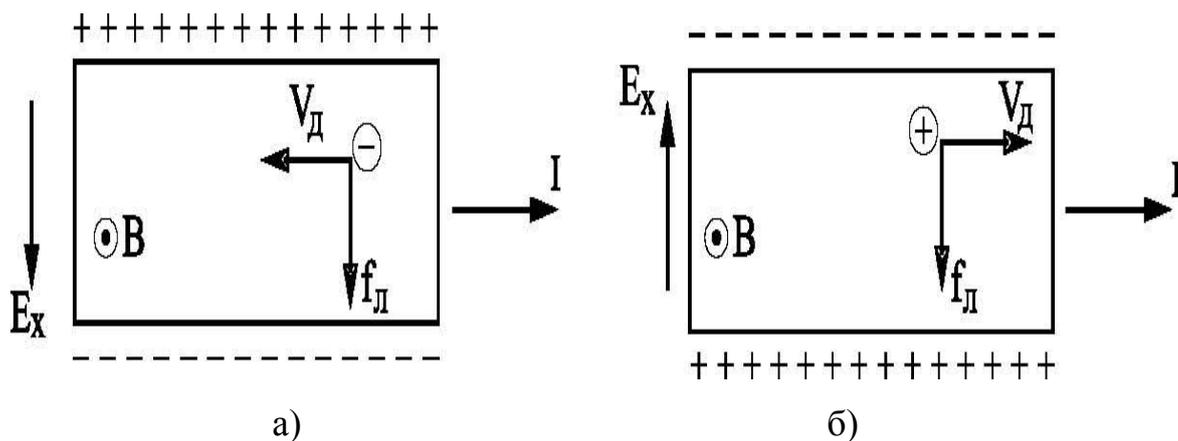


Рис. 2.2. а) полупроводник n -типа, б) полупроводник p -типа.

$$n = \frac{1}{eR}, \quad (2.11)$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

Рассмотренный эффект Холла, причиной которого является действие силы Лоренца на движущиеся в магнитном поле заряды, называется классическим эффектом Холла.

Мы будем изучать эффект Холла в полупроводниках, поскольку в них эффект Холла имеет в основном классическую природу, и, следовательно, для его описания справедливо выражение (2.9). Выражение (2.9) для классической постоянной Холла получено в предположении, что все носители тока имеют одинаковую дрейфовую скорость движения v_D , которая не изменяется при движении носителей заряда в веществе. В действительности, необходимо учитывать механизм рассеяния носителей заряда в твердом теле, что неизбежно приведет к уточнению значения постоянной Холла. В общем случае R определяется следующим выражением:

$$R = r_x \frac{1}{en}, \quad (2.12)$$

где r_x – Холл-фактор.

С помощью Холл-фактора учитываются разные механизмы рассеяния носителей заряда. При рассеянии на тепловых колебаниях решетки расчет дает значение $r_x = 3\pi/8$. Это случай собственных полупроводников и полупроводников, имеющих носители заряда одного знака. В случае вырожденных полупроводников и металлов $r_x = 1$, а при преимущественном рассеянии на ионах примеси $r_x = 315\pi/512$. Таким образом, в чистых полупроводниках с собственной проводимостью преобладает рассеяние на

колебаниях решетки (например, в германии и кремнии при высоких и комнатных температурах), а для постоянной Холла получается выражение

$$R = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{en}. \quad (2.13)$$

Следует обратить внимание на то, что концентрация носителей заряда (как положительных $-P$, так и отрицательных $-n$) сильно зависит в полупроводниках от температуры. Следовательно, и постоянная Холла также зависит от температуры. В области собственной проводимости R уменьшается по модулю с ростом температуры.

При экспериментальном определении $U_{холл}$ следует обратить внимание на то, что наряду с эффектом Холла наблюдаются также некоторые другие эффекты: гальваномагнитный, термомагнитный эффекты и др. Для исключения влияния побочных эффектов используют свойство четности этих эффектов, т.е. их независимость от направления магнитного поля. Между тем эффект Холла, являясь нечетным эффектом, меняет свой знак при изменении направления магнитного поля.

Для того чтобы исключить побочные эффекты и определить истинное значение $U_{холл}$, (для определения концентрации носителей заряда), напряжение между Холловскими контактами измеряют при двух направлениях магнитного поля. Действительно, пусть при выбранном направлении поля напряжение между Холловскими контактами $U_1 = U_{холл} + U_{доб}$; при изменении направления поля на противоположное напряжение $-U_2 = -U_{холл} + U_{доб}$. Отсюда:

$$U_{холл} = \frac{|U_1| + |U_2|}{2}. \quad (2.14)$$

Таким образом, $U_{доб}$, обусловленное побочными четными эффектами,

исключена.

Если наряду с постоянной Холла определить удельное сопротивление полупроводника, то можно вычислить еще такую важную характеристику, как подвижность носителей заряда.

Подвижностью носителей заряда μ называется дрейфовая скорость носителей заряда, которую они приобретают в электрическом поле с напряженностью 1 В/м.

Очевидно, что если носители заряда движутся в поле с напряженностью E , то их дрейфовая скорость:

$$v_D = \mu E . \quad (2.15)$$

Если концентрация носителей заряда – n , заряд – e , то плотность электрического тока через образец равна

$$j = en v_D = en\mu E . \quad (2.16)$$

По закону Ома

$$j = \sigma E , \quad (2.17)$$

где σ – удельная электропроводность вещества (проводимость), которая согласно (2.16) и (2.17) выражается через подвижность формулой:

$$\sigma = en\mu , \quad (2.18)$$

тогда удельное электрическое сопротивление:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{en\mu} , \quad (2.19)$$

откуда:

$$\mu = \frac{1}{\rho_{\text{ep}}} . \quad (2.20)$$

С учетом выражения (2.13) для постоянной Холла (R), подвижность носителей заряда выражается следующим образом:

$$\mu = \frac{8}{3\pi} \frac{R}{\rho} . \quad (2.21)$$

Подвижность, которая определяется с помощью эффекта Холла, называется «Холловской» подвижностью носителей заряда, в отличие от дрейфовой подвижности. В области собственной проводимости ($n = p$) обычно подвижность электронов (μ_n) больше подвижности дырок (μ_p), поэтому в собственных полупроводниках $R < 0$.

Если же $\mu_p = \mu_n$, то $R = 0$ и $E_x = 0$. Это означает, что отклоняемые в одну и ту же сторону электроны и дырки не создают поля Холла (их заряды компенсируют друг друга, и поле не возникает). В случае, когда $\mu_p \neq \mu_n$ и $R \neq 0$, знак R определяется знаком носителей заряда, которые имеют большую подвижность.

Для определения удельного электрического сопротивления изучаемого полупроводника измеряют электрическое сопротивление между двумя контактами, расположенными на длинной поверхности образца на расстоянии Δl . С этой целью пропускают электрический ток I вдоль длины образца и измеряют падение напряжения U_{ρ} между указанными контактами. Тогда удельное сопротивление вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{U_{\rho} bd}{I \Delta l},$$

где bd – поперечное сечение образца.

2.4. Электрические свойства кремния с нанокластерами атомов марганца

При исследовании электрических свойств, кремния с нанокластерами атомов марганца, основное внимание было уделено исследованию подвижности носителей заряда в таких материалах и закономерностям изменения подвижности от температуры. Такие исследования проводились с помощью установки для изучения эффекта Холла. В таблице 2.1 приведены основные электрические параметры образцов кремния с нанокластерами, а также без нанокластеров при комнатной температуре.

Таблица 2.1

Характеристика образцов полученных различными методами диффузии

Метод диффузии	Полученные образцы	Тип	ρ , Ом·см	μ , см ² /В·с	$N_{n, p}$ см ⁻³
Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$2 \cdot 10^2$	213	$1,46 \cdot 10^{14}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$3 \cdot 10^2$	167	$1,24 \cdot 10^{14}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$8 \cdot 10^2$	90	$8,68 \cdot 10^{13}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$8 \cdot 10^3$	63	$1,24 \cdot 10^{13}$

Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$1,2 \cdot 10^4$	78	$6,67 \cdot 10^{12}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$2 \cdot 10^4$	80	$3,9 \cdot 10^{12}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$4 \cdot 10^4$	75	$1,98 \cdot 10^{12}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> с нанокластерами	p	$1,2 \cdot 10^5$	158	$3,29 \cdot 10^{11}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> без нанокластеров	n	$3 \cdot 10^3$	1218	$1,71 \cdot 10^{12}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> без нанокластеров	n	$5 \cdot 10^4$	1012	$1,23 \cdot 10^{11}$
Низкотемпературный	Si<B,Mn> без нанокластеров	n	$1,2 \cdot 10^5$	983	$5,55 \cdot 10^{10}$
Стандартный	Si<B,Mn> без нанокластеров	p	$3 \cdot 10^2$	347	$6 \cdot 10^{13}$
Стандартный	Si<B,Mn> без нанокластеров	p	$6 \cdot 10^3$	271	$3,84 \cdot 10^{12}$
Стандартный	Si<B,Mn> без нанокластеров	p	$7 \cdot 10^4$	214	$4,17 \cdot 10^{11}$
Стандартный	Si<B,Mn> без нанокластеров	n	$4,5 \cdot 10^3$	1214	$1,14 \cdot 10^{12}$
Стандартный	Si<B,Mn> без нанокластеров	n	$6 \cdot 10^4$	1258	$8,28 \cdot 10^{10}$
Стандартный	Si<P ,Ni>	n	$5,1 \cdot 10^4$	2017	$6 \cdot 10^{10}$
Стандартный	Si<P ,Ni>	p	$6 \cdot 10^4$	261	$4 \cdot 10^{11}$
Стандартный	Si<P ,Co>	n	$8,3 \cdot 10^4$	1120	$6,7 \cdot 10^{10}$
Стандартный	Si<P ,Co>	p	$2 \cdot 10^3$	220	$1,4 \cdot 10^{13}$

В образцах p - Si<B,Mn> с удельным сопротивлением $\rho=4\cdot 10^3\div 4\cdot 10^4$ Ом·см, в которых наблюдались нанокластеры атомов марганца имеют место очень маленькие подвижности дырок, не характерные для кремния. Как видно из таблицы 2.1 приведенные значения подвижности дырок в таких материалах составляют 60-90 см²/В·с, что в 2-2,5 раза меньше чем подвижности дырок в обычных образцах, а также в образцах p - Si<B,Mn>, где не имеется нанокластеров. Для сравнения в таблице 2.1 также приведены значения подвижности дырок в кремнии, легированного никелем и кобальтом с аналогичными электрическими параметрами. Многократные измерения во многих образцах дали одинаковые результаты. Этот эффект не только характерен для компенсированных образцов, но как следует из таблицы 2.1, в перекомпенсированных образцах n -Si<B,Mn> с $\rho>10^3$ Ом·см, где четко не выявлены признаки нанокластеров, подвижности электронов также существенно меньше, чем подвижность электронов в кремнии без марганца, а также в кремнии легированного другими примесями с аналогичными электрическими параметрами. В кремнии Si<P,Ni> как n -типа, так и p -типа температурная зависимость μ_p и μ_n в исследуемой области температур описывается закономерностью $\mu_p \sim \mu_n \sim T^{3/2}$ т.е. в исследуемом интервале температур действует механизм рассеяния на колебаниях решетки.

Температурные зависимости подвижности носителей заряда в кремнии с нанокластерами показывают еще одно существенное отличие этих материалов (рис. 2.3). Как известно в слаболегированном кремнии ($N_d, N_a<10^{18}$ см⁻³) независимо от его удельного сопротивления, подвижности электронов и дырок с понижением температуры увеличиваются по закону $\mu_p \sim T^{3/2}$, преобладающим механизмом рассеяния здесь является рассеяние носителей заряда на колебаниях решетки. Действительно в образцах без нанокластеров и в образцах легированных другими примесными атомами такая закономерность имеет место (рис. 2.3, кривая-4). Однако, как показали экспериментальные данные, по исследованию подвижности дырок в образцах, где четко выявляется наличие нанокластеров, с понижением температуры, значение подвижности сначала растет достаточно быстро до

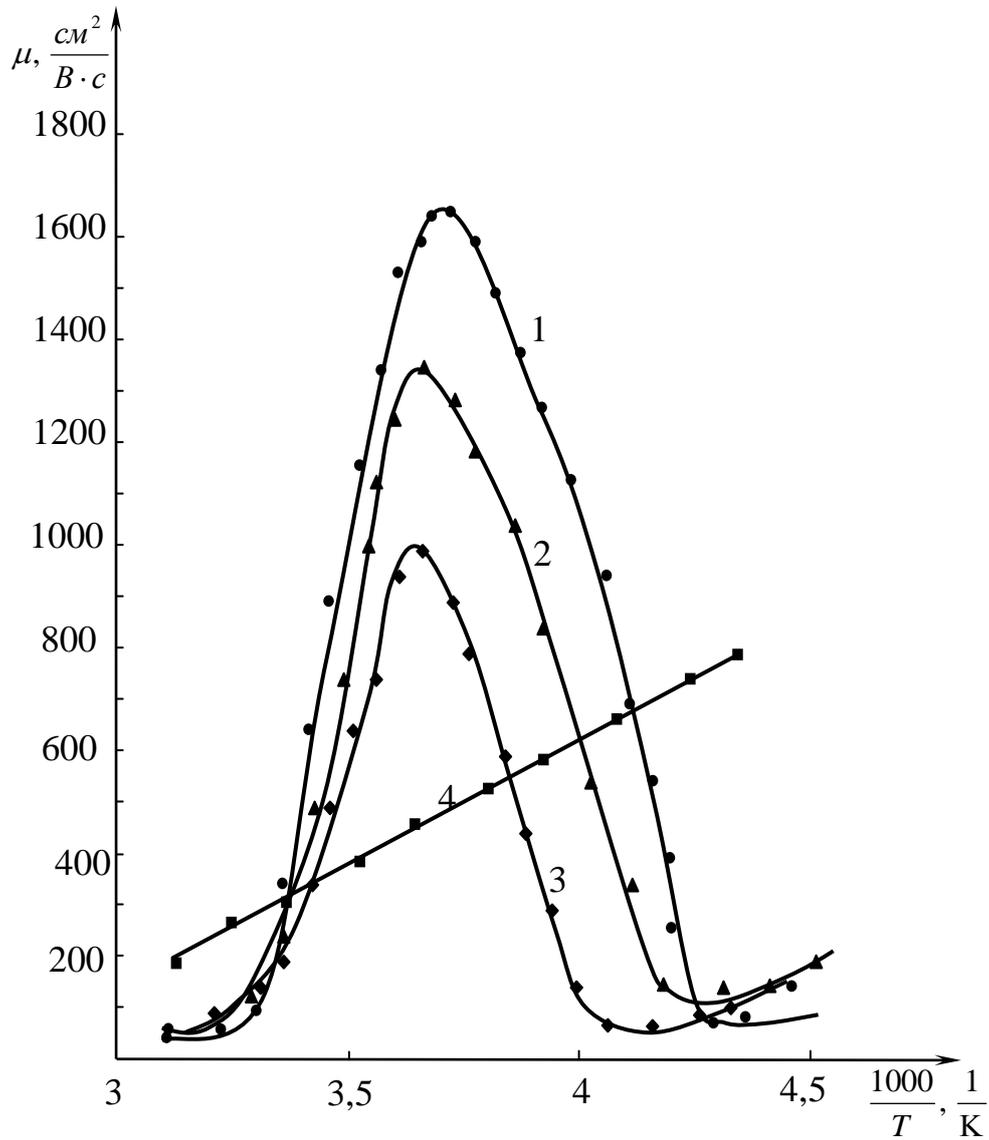


Рис. 2.3. Температурная зависимость подвижности дырок в кремнии p -типа с нанокластерами атомов марганца $p\text{-Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$:

1) $\rho=8 \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, 2) $\rho=2 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, 3) $\rho=4 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, 4) контрольный образец без нанокластеров.

определенной температуры $T_{\max 1}$ по закону $\mu_p \sim T^{2,5+3}$, затем с понижением температуры до $T_{\min 1}$ значение подвижности сильно уменьшается по закону $\mu_p \sim T^{(2,5-3)}$, что не характерно для подвижности дырок при таких температурах (рис.2.3 кривая-1). Значения температур $T_{\max 1}$ и $T_{\min 1}$ существенно зависят от удельного сопротивления образцов. С ростом последнего значение $T_{\max 1}$ и $T_{\min 1}$ смещаются в сторону высоких температур (рис. 2.3, кривая – 2, 3).

Следует отметить, что этот эффект наблюдается только в образцах с явно выраженными спектрами ЭПР, это связано с нанокластерами и выявлено с помощью силового атомного микроскопа. Также следует отметить, что в некоторых образцах изучение эффекта Холла и соответственно Холловской подвижности в области низких температур является достаточно трудным и даже невозможным. Мы утверждаем, что это связано с изменением кратности заряда нанокластеров, обладающих достаточно сильным электрическим полем, которое существенно превышает Холловское напряжение.

Для проверки этого утверждения нами исследовалась зависимость подвижности дырок от приложенного электрического поля при температуре $T=300$ К. Как показали результаты исследований, в образцах, где не наблюдались нанокластеры, независимо от их удельного сопротивления и типа проводимости, в исследуемой области электрического поля $E=5 \div 100$ В/см, значение подвижности не меняется и остается постоянным в пределах ошибки эксперимента. В то время как в образцах с нанокластерами, с ростом значения электрического поля подвижность носителей тока существенно, почти прямо пропорционально растет. Но следует отметить, что исследуемая область электрического поля не является сильным полем.

Это еще одно аномальное явление, обнаруженное нами в кремнии с нанокластерами атомов марганца. Полученные экспериментальные данные дают полное основание однозначно утверждать, что нанокластеры обладают многократным зарядом. Созданное электрическое поле и потенциал вокруг каждого нанокластера, настолько сильные, что даже при комнатной температуре рассеяние носителей заряда определяется не на колебаниях

решетки, хотя этот тип рассеяния, возможно и остается, а в основном определяется рассеянием на заряженных нанокластерах. Чем больше концентрация нанокластеров и кратность заряда, тем больше выявляется этот эффект.

Более подробный анализ и обсуждение этой проблемы, мы приведём в конце диссертации, после рассмотрения экспериментальных результатов по изучению магнитных и фотоэлектрических особенностей образцов с нанокластерами атомов марганца.

2.5. Обработка результатов измерений

1. Построить график зависимости ЭДС Холла от тока соленоида и провести по экспериментальным точкам прямую линию, выражающую зависимость:

$$U_{холл} = AI, \quad (2.22)$$

учитывая, что точка (0,0) является результатом измерений, прямая должна проходить через начало координат.

2. Вычислить из графика постоянную A :

$$A = tg\alpha, \quad (2.23)$$

где $tg\alpha$ – тангенс угла наклона прямой на графике.

3. Вычислить постоянную Холла по формуле:

$$R = \frac{Ab}{\mu_0 N_0 I_g}, \quad (2.24)$$

где b – толщина германиевой пластинки в датчике;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная;

N_0 – число витков на единицу длины соленоида;

I_g – ток датчика Холла.

Для Л.Р.№ 421, 422: $N_0 = 1,6 \cdot 10^5$ вит/м; $b = 0,5$ мм.

Для Л.Р.№ 423: $N_0 = 1,6 \cdot 10^5$ вит/м; $b = 0,8$ мм.

4. По формулам (2.11) и (2.13) вычислить концентрацию носителей заряда в полупроводнике германия.

5. Вычислить по формуле (2.13) концентрацию носителей заряда и по формуле (2.21) подвижность носителей заряда для кремния n - типа (примесь – фосфор) с удельным сопротивлением $\rho = 2$ Ом·см и известным значением постоянной Холла $R_x = 0,01$ м³/Кл и для образца кремния p - типа (примесь – бор) с удельным сопротивлением $\rho = 100$ Ом·см и $R_x = 0,1$ м³/Кл.

2.6. Контрольные вопросы

1. В чём состоит эффект Холла?
2. Какова природа носителей тока в полупроводниках?
3. Как создаются полупроводники p -типа и n -типа?
4. Что такое дрейфовая скорость носителей тока?
5. Как определяется физическая величина, называемая «подвижность носителей тока»?
6. Что такое собственная проводимость и примесная проводимость полупроводников?
7. Коэффициент Холла у полупроводников на несколько порядков больше, чем у металлов. Чем это объясняется?

8. При измерении эффекта Холла в некотором полупроводнике оказалось, что полярность холловской разности потенциалов противоположна той, которая наблюдалась у медной пластинки. Как это можно объяснить?

9. Можно ли по измеренной постоянной Холла (не имея другой информации о данном образце) определить концентрацию носителей тока в примесном полупроводнике?

10. В чём состоит главная причина того, что электрическая проводимость металлов на несколько порядков больше, чем у полупроводников?

11. В некотором образце измерили Холловскую разность потенциалов $U_{холл}$ при токе через образец, равном I . Как изменится $U_{холл}$, если образец по ширине d (см. рис.1) уменьшить вдвое, а плотность тока в образце оставить прежней?

12. Как изменится Холловская разность потенциалов $U_{холл}$, если толщину образца уменьшить вдвое, а плотность тока оставить прежней?

13. Как изменится Холловская разность потенциалов $U_{холл}$, если все геометрические размеры образца (длина, ширина, толщина) уменьшить вдвое, а ток через образец оставить прежним?

14. Наблюдается ли эффект Холла в собственных полупроводниках?

15. Зависит ли эффект Холла от температуры?

16. В аналоговых ЭВМ эффект Холла используется для умножения двух сигналов. На вход устройства подаются два тока I_1 и I_2 , а на выходе получается сигнал, пропорциональный произведению токов: $(I_1 \cdot I_2)$. Как это можно сделать, используя эффект Холла?

17. Чувствительность датчиков Холла $\approx 0,1$ В/Тл. Можно ли с помощью датчика Холла измерить индукцию магнитного поля Земли?

18. Почему для измерения эффекта Холла используется измерение ЭДС Холла, а не тока?

19. При установке датчика Холла внутрь соленоида датчик случайно сместился и плоскость пластинки оказалась наклонённой к оси соленоида на угол 70° . Как это скажется на измерении ЭДС Холла?

20. При установке датчика Холла внутрь соленоида датчик случайно сместился и оказался точно на краю соленоида. Как это скажется на измерении ЭДС Холла?

21. При увеличении тока через датчик пропорционально току увеличивается ЭДС Холла. Сохраняется ли эта зависимость при большом токе?

22. Чем ограничивается увеличение тока через датчик Холла?

23. Как исказятся результаты измерений, если ток в датчике Холла превысит максимальное значение, указанное в паспорте на датчик?

24. Как должна быть установлена поверхность пластины датчика Холла относительно оси соленоида?

25. Напряжение Холла при одном и том же значении тока соленоида измеряется дважды: при одном направлении тока и при изменении тока на противоположное. Зачем это нужно?

26. Датчик Холла не выдаёт ЭДС, но все электрические контакты в порядке. В чём может быть причина неисправности и как её устранить?

27. Что можно сделать для увеличения чувствительности приобретённого (т.е. уже изготовленного) датчика Холла?

28. В паспорте на один из типов датчиков Холла (ДХГ-2) указан интервал температур, в котором может работать датчик. Минимальная температура для этого датчика – минус 60° . Чем объясняется такое ограничение температуры?

29. Будет ли наблюдаться эффект Холла у датчика ДХГ-2 (см. предыдущий вопрос) при температуре ниже -60° .

30. При подключении датчика Холла были перепутаны контакты: к контактам для пропуска тока подключили измеритель ЭДС Холла, а контактом, предназначенным для измерения ЭДС, подключили источник тока. Будет ли наблюдаться эффект Холла в этом случае?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан новый технологический подход - низкотемпературное диффузионное легирование, позволяющий формировать нанокластеры атомов марганца.

2. Установлены термодинамические и технологические условия самоорганизации нанокластеров.

3. Создана модель состава и структуры нанокластеров $[(Mn)_4^{+n}B^-]^{+(n-1)}$ на основе проведенных анализа спектров ЭПР и изображений полученных с помощью силового атомного микроскопа.

4. Впервые показана возможность создания многозарядных нанокластеров в решетке с управляемым зарядовым состоянием и их распределением в объеме кристалла.

5. Впервые обнаружены новые явления: существенное уменьшение подвижности носителей заряда, аномальная температурная зависимость подвижности, а также сильное влияние электрического поля на подвижность носителей заряда.

6. Установлено, что в образцах с многозарядными нанокластерами в области $T=100\div 300$ К, преобладающим механизмом рассеяния, является рассеяние на заряженных центрах.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

БЖД - это область знаний, изучающая опасности, угрожающие человеку в среде обитания (природной, производственной, бытовой), и способы защиты от них. В основу теории безопасности человека положена концепция деятельности, одним из наиболее существенных моментов которой является аксиома о потенциальной опасности в любом из видов деятельности. В таком случае, безопасность можно определить как такое состояние жизнедеятельности, при котором с определенной вероятностью исключается принесение ущерба здоровью человека. Такое состояние достигается с помощью определенного механизма управляющих воздействий на те факторы, от которых зависят условия БЖД.

Проблема сохранения окружающей природной среды, обеспечение экологической безопасности охватывает все сферы жизнедеятельности человека. В основных законодательных документах Узбекистана отмечается необходимость повышения эффективности государственного управления в области охраны природы и использования природных ресурсов, контроля состояния окружающей среды. Проблема охраны природы и улучшения окружающей среды носит ярко выраженный характер и требует объединенных усилий всех звеньев при производстве исследований.

Анализ опасных и вредных факторов, причин и динамики травматизма

Опасным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Если же производственный фактор приводит к заболеванию или снижению работоспособности, то его считают вредным. Опасные и вредные производственные факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

К физическим опасным и вредным производственным факторам в энергетике можно отнести: подвижные части производственного оборудования, повышенное значение напряжения в электрической цепи,

повышенный уровень ионизирующих излучений, повышенную напряженность электрического, магнитного полей и другие.

К химическим опасным и вредным производственным факторам относятся химические вещества, которые по характеру воздействия на организм человека подразделяются на токсические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию. По путям проникновения в организм человека они делятся на проникающие через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

К биологическим опасным и вредным производственным факторам относятся патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, а также макроорганизмы.

К психофизиологическим опасным и вредным производственным факторам относятся физические и нервно-психические перегрузки.

Основными результатами воздействия опасных и вредных производственных факторов на работников являются соответственно травмы и профессиональные заболевания. Частным случаем профессионального заболевания является профессиональное отравление.

Целью анализа травматизма является разработка мероприятий по предупреждению несчастных случаев. Анализ травматизма включает два этапа. Первый из них - тщательное всестороннее расследование обстоятельств и причин несчастного случая на месте его происшествия, второй систематический анализ и обобщение причин несчастных случаев. Среди методов анализа травматизма можно выделить следующие:

- монографический;
- экономический;
- эргономический;
- психофизиологический;
- статистический.

Результатом анализа травматизма является выделение причин производственного травматизма и профессиональной заболеваемости Среди

причин производственного травматизма можно выделить несколько групп: Технические причины: несовершенство технологических процессов, конструктивные недостатки оборудования, приспособлений, инструментов; недостаточная механизация тяжелых работ; несовершенство ограждений, предохранительных устройств, средств сигнализации и блокировок; прочностные дефекты материалов и т.п.

Организационные причины, зависящие от уровня организации труда на предприятии. К ним, например, относятся: нарушение правил эксплуатации оборудования, транспортных средств, инструмента; недостатки в организации рабочих мест; нарушение правил и норм транспортировки и хранения оборудования; недостатки в обучении рабочих безопасным методам труда и т.п.

Санитарно-гигиенические причины зависят от особенностей организма человека. Профессиональные отравления могут быть обусловлены всеми указанными выше причинами, а профессиональные заболевания чаще всего вызываются санитарно-гигиеническими и психофизиологическими причинами.

В настоящее время около 99% всей полезной физической работы, необходимой для общества осуществляется машинами, управляемыми человеком. Все больше функций человека на производстве сводится к управлению, контролю, программированию. Труд рабочего становится трудом оператора.

Для того чтобы управлять технологическим процессом, наблюдать и контролировать работу машин оператору необходимы данные, которые характеризуют как ход процесса, так и отдельных его звеньев. Человек создал современные машины, выполняющие мощнейшие операции. Однако, в ряде случаев дальнейшее совершенствование машин не только не увеличивает производительность труда, но и оставляет ее на прежнем месте, а иногда и уменьшает.

На современном этапе назрела необходимость в создании специализированных служб предприятия на объектах промышленности. К

основным направлениям деятельности этих служб относятся:

повышение безопасности выпускаемой продукции, проведение экологической экспертизы и снятие с производства экологически опасной продукции;

- разработка и совершенствование технологических процессов в целях экономии природных ресурсов и сокращения негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение экологически чистых производств и технологий. Экологическая экспертиза новой техники и технологий;

- снижение до регламентированного уровня или полная ликвидация загрязнения атмосферы, водных объектов, почвы и недр, энергетических загрязнений окружающей среды (шума, вибрации, излучений);

- строительство оборудования и эксплуатация природоохранных объектов (очистных сооружений, утилизационных установок, оборотных систем);

- организация работ по утилизации попутных и побочных продуктов, твердых производственных отходов;

- функциональные системы контроля качества окружающей среды.

Для наилучшего обеспечения радиационной безопасности персонала в основу планировки производственных помещений положен главный гигиенический принцип-деление их на зоны в зависимости от характера технологических процессов, участия в них обслуживающего персонала, размещения оборудования, характера и возможной степени загрязнения помещений радиоактивными или токсическими веществами:

1) зону строгого режима, где возможно нейтронное излучение и загрязнение воздушной среды помещений радиоактивными газами и аэрозолями, а также загрязнение поверхностей строительных конструкций и оборудования радиоактивными веществами;

2) зону свободного режима, где практически исключается радиационное воздействие на персонал.

Помещения зоны строгого режима разделяются на:

а) непосещаемые помещения — боксы, камеры и другие герметичные помещения, где размещается технологическое оборудование и

коммуникации, являющиеся основными источниками излучения и радиоактивного загрязнения (пребывание персонала в них при работающем оборудовании не допускается);

б) периодически посещаемые помещения — для технического контроля и проведения ремонта оборудования, других работ, связанных с вскрытием технологического оборудования; цехи загрузки и выгрузки радиоактивных материалов, временного хранения и удаления отходов;

в) помещения, предназначенные для постоянной работы персонала в течение всей смены.

Защита персонала обеспечивается изоляцией помещений, строительными решениями, биологической защитой, санитарно- бытовыми устройствами, оборудованием шлюзов. Вход в помещение зоны строгого режима осуществляется через санитарные пропускники с обязательным полным переодеванием персонала. Предъявляются специальные требования к отделке производственных помещений. Отделка производится прочными, долговечными, обладающими температурно-влажностойкостью материалами, слабо сорбирующими радиоактивные вещества.

Все процессы, связанные с управлением работой реактора и радиоактивных контуров и систем, процессы загрузки, выгрузки и транспортировки топливных элементов, а также другие транспортно-технологические операции с радиоактивным оборудованием должны быть максимально механизированы и автоматизированы.

Управление и наблюдение за процессами осуществляется с защищенных пультов, оборудованных перископами, телевизионными установками и т. д.

Ремонт оборудования выполняется после необходимой его дезактивации специализированной бригадой специалистов. Он производится на специальном стенде, оборудованном эффективной вытяжной вентиляцией с очисткой удаляемого воздуха. Работающие обеспечиваются средствами индивидуальной защиты глаз, органов дыхания, кожных покровов. С этой целью применяются респираторы, пневмошлемы, а при необходимости-

пневмокостюмы.

При загрязнении воздуха помещений радиоактивными веществами (газами или парами) персоналу выдаются фильтрующие или изолирующие средства защиты органов дыхания (респираторы).

Смена спецодежды производится не реже 1 раза в рабочую неделю, загрязненная спецодежда и индивидуальные средства защиты заменяются немедленно.

Пленочные, резиновые средства защиты должны после каждого пользования подвергаться дезактивации в санитарном шлюзе или другом специально отведенном месте.

Курение допускается только в специальных помещениях, оборудованных умывальником с подводкой горячей и холодной воды, радиометрическим прибором для самоконтроля, фонтанчиком питьевой воды для полоскания рта.

В случае аварии особое внимание уделяется мероприятиям по предупреждению переоблучения работающих до ее ликвидации, локализации радиоактивных загрязнений и предотвращению разноса их внутри помещения. Работы проводятся под строгим дозиметрическим контролем.

Радиационная безопасность персонала обеспечивается:

- ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья;
- уровню предыдущего облучения и другим показателям;
- знанием и соблюдением правил работы с источниками излучения;
- достаточностью защитных барьеров, экранов и расстояния от источников излучения, а также ограничением времени работы с источниками излучения;
- созданием условий труда, отвечающих требованиям НРБ-99;
- применением индивидуальных средств защиты;
- соблюдением установленных контрольных уровней;
- организацией радиационного контроля;

- организацией системы информации о радиационной обстановке;
- проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения в случае угрозы и возникновения аварии. Радиационная безопасность населения обеспечивается:
- созданием условий жизнедеятельности людей, отвечающих требованиям НРБ-99;
- организацией радиационного контроля;
- установлением квот на облучение от разных источников излучения;
- эффективностью планирования и проведения мероприятий по радиационной защите в нормальных условиях и в случае радиационной аварии.

Лечебные и санитарно-профилактические мероприятия являются важным условием обеспечения радиационной безопасности. Медицинское обеспечение радиационной безопасности включает медицинские обследования (медосмотр), профилактику заболеваний, а в случае необходимости, лечение и реабилитацию лиц, у которых выявлены отклонения в состоянии здоровья. Все работающие с источниками ионизирующего излучения (персонал группы А) должны проходить обязательный предварительный (при поступлении на работу) медицинский осмотр для выявления особенностей состояния организма, предрасполагающих к профессиональному заболеванию. В дальнейшем для возможно более раннего выявления признаков хронического или острого профессионального заболевания проводятся периодические медицинские осмотры. Сроки и порядок проведения периодических медицинских осмотров зависят от условий работы и определяются Минздравом Республики Узбекистан.. Женщины на весь период беременности должны освобождаться от работы с источниками ионизирующих излучений. Отказ работника от прохождения профилактических медицинских осмотров является основанием для отстранения его от работы.

Расчет толщины защитных экранов от прямого рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение имеет непрерывный энергетический спектр, максимальная энергия которого соответствует номинальному напряжению на рентгеновской трубке U . При расчете защитных экранов от рентгеновского излучения следует учитывать изменение его спектрального состава возникающее вследствие более сильного поглощения низкоэнергетических компонентов спектра с ростом толщины защитного слоя.

При определении толщины защитного экрана от прямого рентгеновского излучения применяют номограммы, полученные на основании экспериментальных данных. С помощью номограмм толщину необходимого свинцового защитного экрана d определяют для коэффициента ослабления K , равного

$$K = tI/3R^2$$

где t - время облучения в день, ч; I - сила тока трубки, мА; R - расстояние между рентгеновской трубкой и рабочим местом, м.

При определении толщины защитного экрана рекомендуется увеличить расчетную толщину на один слой половинного ослабления. Для определения толщины защитного экрана из железа, бетона, баритобетона и кирпича удобно пользоваться данными по свинцовым эквивалентам при различных значениях напряжения на рентгеновской трубке U_0 .

При работе с радиоактивными веществами первоочередное значение приобретает правильная организация труда, обеспечивающая безопасную работу обслуживающего персонала и всего населения. Обеспечение безопасности при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений достигается правильной организацией труда, предусматривающей осуществление комплекса технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, направленных на исключение облучения персонала выше регламентируемых

Государственными нормативными документами величин. К этим мероприятиям относятся: создание защиты от внешних потоков излучения; предотвращение поступления радиоактивных веществ сверх установленных величин в рабочие помещения и окружающую природную среду; соответствующая планировка и отделка помещений, обеспечивающая их дезактивацию, организацию необходимого радиационного контроля и санитарно-пропускного режима; обеспечение условий безопасного транспортирования радиоактивных веществ, сбора, переработки и захоронения радиоактивных отходов; использование средств индивидуальной защиты; проведение дезактивационных работ и т. д.

Руководящим документом, регулирующим требования по безопасности в сфере деятельности с источниками радиации являются "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности" (ОСПОРБ-99). Они обязательны для всех предприятий и учреждений, где ведутся работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений, а также осуществляются транспортирование, переработка, хранение и (или) захоронение радиоактивных отходов. Этими правилами обязаны руководствоваться службы, осуществляющие контроль за обеспечением радиационной безопасности персонала и населения страны, а также организации, осуществляющие проектирование и строительство учреждений, цехов, участков, установок, предназначенных для работ с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. Нарушение ОСПОРБ-99 влечет за собой дисциплинарную и административную ответственность, а за наиболее грубые нарушения виновные привлекаются к уголовной ответственности.

В ОСПОРБ-99 изложены наиболее общие положения по обеспечению радиационной безопасности. Специфика работы может потребовать развития, дополнения и уточнения отдельных положений по обеспечению радиационной безопасности. Поэтому министерства и ведомства на основе и в развитие ОСПОРБ-99 могут разрабатывать отраслевые Правила по обеспечению безопасности, где учитывается особенность выполняемых

работ в сфере воздействия ионизирующих излучений. Работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучение проводятся с разрешения и под контролем органа санэпиднадзора которым предоставляется вся необходимая документация о характере проводимых работ, радиационной обстановке на предприятии или учреждении и на прилегающей территории.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

I. Техничко-экономические обоснование проекта

II. Определить объем инвестиции

- Стоимость основных фондов
- Объем инвестиции на покупку материально-производственных запасов
- Объем инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов
- Расчет заработной платы производственных рабочих

III. Определить экономическую эффективность, годовой доход

IV. Определить срок окупаемости инвестиции

1. Техничко-экономическое обоснование проекта

- Цель, сущность и задачи проекта и его актуальность
- Экономическая эффективность проекта

2. Определить объем инвестиции

В нижеследующих таблицах приведены затраты на ВКР.

Таблица 1.

Объем инвестиции на покупку материално-производственных запасов

№	Наименование	Кол-во	Цена за единицы	НДС 20%	Общая стоимость с учетом НДС
1	Индикатор	10	12.000	20.000	120.000
2	Вилка провада	5	10.000	10.000	60.000
3	Корпус	1	10.000	20.000	120.000
4	Амперметр	1	100.000	20.000	120.000
5	Диод холо	1	100.000	20000	120.000
6	Масло диотный	1	100.000	20000	120.000
7	Канденцатор	1	50.000	10.000	60.000
8	Солиноид	1	50.000	10000	60000
9	итого				78000

Таблица 2.

Объем инвестиции на покупку малоценного инвентаря и контрольно-измерительных приборов

№	Наименование	Кол-во	Цена за единицы	НДС 20%	Общая стоимость с учетом НДС
1	Дрель	1	200.000	40.000	240.000
2	Отвертка	1	5.000	1.000	6.000
3	Паяльник	1	15.000	3.000	18.000
4	Пинцет	1	1.000	200	1.200
5	Плоскогубцы	1	5.000	1.000	6.000
6	Коргомиц	1	15.000	3.000	18.000
7	Нажовка	1	7.000	1.400	8.400
8	итого				297.600

Таблица 3.

Стоимость основных фондов

№	Наименование основных фондов	Кол-во	Стоимость ОФ
1	Лаборатория	1	1.000.000
2	инструмент		297.600
3	Итого		1.297.600 сум

Амортизационные отчисления составляет 20 % от стоимости ОФ

$$A_{отч} = 0,2 \cdot ОФ / 12$$

$$A_{отч} = 0,2 \cdot 1.297.600 / 12$$

$$A_{отч} = 21626.66 \text{ сум}$$

Затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание 12% от стоимости
ОФ

$$P_m = \frac{12\% \cdot \text{ОФ}}{12}$$

$$P_T = 0,12 \cdot 1.297.600 / 12$$

$$P_T = 12976 \text{ сум}$$

Таблица 4.

Расчет заработной платы производственных рабочих

№	Наименование операции	Исполнители	Продолжительность	Среднедневная ставка	Стоимость выполненных работ
1	Выбор темы на разработку	СНС	1	17000	17000
2	Изучение и анализ литератур по темы	МНС	2	9000	18000
3	Работа и конструкции эксперимента	МНС	1	9000	9000
4	Ознакомление информационной обеспечение	МНС	1	9000	9000
5	Определение актуальность работ	МНС	1	9000	9000
6	Получение омических контактов	МНС	1	9000	9000
7	Сбора измерительной схемы	МНС	1	9000	9000
8	Подготовка к основному измерению	МНС	1	9000	9000
9	Основное измерение	МНС СНС	1 1	9000 17000	9000 17000
10	Анализ полученных результатов	МНС	1	9000	9000

11	Провести исследование	МНС	1	9000	9000
12	Приготовит заключение по проведенному исследованию	МНС	2	9000	18000
		СНС	1	17000	17000
13	Просчитать на прочность	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
14	Экономическая часть	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
15	БЖД	МНС	1	9000	9000
		СНС	1	17000	17000
16	Рецензирование	СНС	1	17000	17000
17	Подготовка пояснительной	МНС	1	9000	9000
	Итого		24		272000

Основная заработная плата определяется как сумма оплаты труда всех рабочих и премии в размере 40 %

$$Z_{осн} = COT * 0.4 + COT \quad Z_{осн} = 272000 * 1,4$$

$$Z_{осн} = 38080$$

Дополнительной заработной платы производственных рабочих берется 10 % от основного З/п

$$Z_{д} = K_{д} * Z_{осн}$$

$$Z_{д} = 0,1 * 380800$$

$$Z_{д} = 38080$$

Фонд оплаты труда определяется как сумму основной и дополнительной заработной платы

$$ФОТ = Z_{осн} + Z_{д}$$

$$ФОТ = 380800 + 38080$$

$$ФОТ = 418880$$

Затраты на социальной страхование рассчитывается 25% от ФОТ

$$O_{\text{фсс}}=25\% \cdot \text{ФОТ}$$

$$O_{\text{фсс}}=0,25 \cdot 418880$$

$$O_{\text{фсс}}=104720 \text{ сум}$$

Транспортные расходы рассчитывается 20% от Зосн

$$P_{\text{ТР}}=0,2 \cdot Z_{\text{ОСН}}$$

$$P_{\text{ТР}}=0,2 \cdot 380800$$

$$P_{\text{ТР}}=76160 \text{ сум}$$

Расход пара на производственные нужды

$$\text{Длина}-8 \text{ м}$$

$$\text{Ширина}-5,2 \text{ м}$$

$$V=\text{длина} \cdot \text{ширина}$$

$$V=8 \cdot 5,2=41,6 \text{ м}^2$$

$$V=41,6 \cdot 663,05=27582,88 \text{ сум}$$

Расходы на электроэнергии определяются по формуле

$$W=N \cdot T \cdot S$$

N–установленная мощность, кВт

T–время работы

S–стоимость электроэнергии за кВт

$$W=1 \cdot 144 \cdot 112,2$$

$$W=16156,8 \text{ сум}$$

Объем инвестиции определяется по формуле

$$K=\text{МПЗ}+\text{ФОТ}+A_{\text{оф}}+\sum P$$

$$K=780000+418880+132875,68+21626,66=1353382,34 \text{ сум}$$

Таблица 5.

Смета затрат на проведение разработки

№	Наименование статьей затрат	Сумма
1	Стоимость выполненных работ	1869550,37
2	Затраты на производство	1438115,67
3	Производственная себестоимость	1396227,67
4	Расходы периода	41888
5	Материальные затраты	823739,68
6	Сырьё	780000
7	Электроэнергия +отопления	43739,68
8	ФОТ	418880
9	Социальное страхование	104720
10	Амортизация	21626,66
11	Прочие затраты	27261,33
12	Основная заработная плата	272000

Таблица 6.

Расчет экономической эффективности выполненных работ

№	Наименование показателей	Ед.изм ерения	сумма	Примечание
1	Стоимость выполненных работ	Сум	1869550,37	Таблица
2	Затраты на производство	Сум	1438115,67	Таблица
3	Инвестиции	Сум	1353382,34	Формула
4	Экономическая эффективность	Сум	431434,7	Формула
5	Срок окупаемость	Месяц	3,1	Формула
6	рентабельность	%	31,8	Формула

Экономическую эффективность определим по формуле

$$\varepsilon = [(C_1 - C_2) \cdot Q]$$

$$C_1 = C_2 \cdot 1,3$$

C_1 и C_2 -себестоимость до и после

Q-объём производство

$$\mathcal{E} = (1869550,37 - 1438115,67) \times 1$$

$$\mathcal{E} = 431434,7 \text{ сум}$$

Рентабельность определим по формуле

$$R = \frac{\mathcal{E} \cdot 100\%}{K}$$

$$R = 431434,7 \times 100\% / 1353382,34$$

$$R = 31,8\%$$

Определяем срок окупаемости

$$T_{OK} = K / \mathcal{E}$$

\mathcal{E} - экономическая эффективность

K-капитал

$$T_{OK} = 1353382,34 / 431434,7$$

$$T_{OK} = 3,13$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники – М.:Высш. шк., 1986.
2. Н.И. Слипченко, В.А. Антонова, О.В. Бородин, Ю.О. Гордиенко. Материалы электронной техники. Учеб. пособие – Х.: ХТУРЭ, 2001.
3. Бонч-Бруевич В.Л, Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1977
4. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. М.: Высшая школа, 1987.
5. Сайт интернета <http://www.techno.edu.ru>
6. Методичні вказівки до курсової роботи студентів з дисципліни «Матеріали електронної техніки»/ Упоряд.: М.І. Сліпченко, О.М. Рибін – Харків: ХНУРЕ, 2005.
7. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Воробьев Ю.В., Добровольский В.Н., Стриха В.И. Методы исследования полупроводников. – Киев: Высш.шк., 1988.
9. БЖД. Краткий конспект лекций для студентов всех специальностей под ред. О.Н. Русака - С-Пб, 1992.
10. ГО за рубежом. Лекции по БЖД. - С-Пб, 1993.
11. Денисенко Г.Ф. Охрана труда - М., "Высшая школа": 1985.-313 с.
12. Инженерные расчеты по курсу "Охрана труда" под ред. проф. Г.Е.Панова - М.:1979.-50 с.
13. Карлин П.Г. ГО объекта. Лекции по БЖД. - С-Пб, 1993.
14. Шалимова К.В.. Физика полупроводников. М.: Энергия, 1976, 416с.
15. Смит Р.. Полупроводники. М.: Мир, 1982, 560с.
16. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа, 1975, 584с.

17. Бонч-Бруевич В.Ш., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977, 637с.
18. Зеегер К.. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977, 615с.
19. Павлов Л.П.. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. М.: Высшая школа, 1987, 238с.
20. Кучис Е.В.. Методы исследования эффекта Холла. М.: Сов. радио, 1974, 328с.
21. Баранский П.И., Клочков В.П., Потыкевич И.В. Полупроводниковая электроника. Киев: Наукова думка, 1975, 704с.
22. www.ufn.ru
23. www.google.ru
24. www.allbest.ru
25. www.wikipedia.ru