

ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УДК.612.014.422

С. П. НОВОСЕЛОВ, канд. техн. наук, О. В. СЫЧЕВА

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Введение

Качество образования, получаемого студентом, определяется не только уровнем теоретической подготовки, но и умением использовать полученные знания на практике. Практические навыки студент приобретает через специально предусматриваемые в учебном плане лабораторные работы и семинарские занятия. Достигаемые при этом эффекты – снижение «порога вхождения» в изучаемую область, сокращение времени на освоение материала, повышение уровня понимания теоретических положений.

Для повышения уровня практической подготовки научных и технических специалистов в последние годы все более широкое применение находят информационные технологии, в частности при организации лабораторных практикумов.

Поэтому актуальной задачей является создание наглядных лабораторных стендов для исследования основных физических явлений, а также разработка программного обеспечения для визуализации полученных данных.

Постановка задачи

Основными требованиями при разработке лабораторного стенда являются:

- соответствие современным требованиям и тенденциям с точки зрения принципов организации АСУ ТП и использование распространённого технического и программного обеспечения, чтобы получаемые студентами знания имели универсальный базовый характер;
- ориентация на групповые занятия для обеспечения одновременной работы нескольких бригад студентов;
- наличие средств индикации и визуализации измерений;
- наличие органов управления для изменения основных параметров, от которых зависят исследуемые величины;
- наличие возможности подключения к ПК для передачи результатов исследований и проведения дальнейшего анализа, полученных данных с использованием специализированных программных пакетов.

Анализ влияния температуры на сопротивление полупроводника

Изменение теплового сопротивления полупроводников при воздействии на полупроводниковый компонент электрической схемы может привести к изменению заданных характеристик устройства или даже выходу самого компонента из строя.

Так, например, эффективность излучения и скорость деградации светодиодов сильно зависят от температуры активной области кристалла. Параметром, определяющим температуру р-п-перехода в светодиоде, является тепловое сопротивление.

Измерение данного параметра приобретает особую важность для мощных светодиодов, у которых большая рассеиваемая мощность может вызвать сильный перегрев кристалла с последующими негативными последствиями.

Проводимость металлов имеет электронную природу. Диэлектрические кристаллы обладают ионной проводимостью. В этом полупроводники схожи с металлами: как и в металлах проводимость большинства полупроводников имеет электронное происхождение.

При нагревании проводимость металлов медленно падает, а проводимость полупроводников, так же как и диэлектриков, наоборот, резко возрастает. Однако известны некоторые

полупроводники, для которых зависимость проводимости от температуры имеет такой же характер, как и у металлов.

Проводимость металлов уменьшается при введении примесей. Проводимость диэлектриков, наоборот, при введении примесей возрастает. В этом отношении полупроводники похожи на диэлектрики: включение примесей приводит к резкому увеличению проводимости полупроводников.

Наиболее типичными широко применяемыми на практике полупроводниками являются бор (B), углерод (C), кремний (Si), фосфор (P), сера (S), мышьяк (As), селен (Se), олово (Sn), сурьма (Sb), теллур (Te), йод (I). При не слишком высоких напряжениях поля (менее 1000 В/см) в полупроводниках выполняется закон Ома:

$$j = \gamma E, \quad (1)$$

где j – плотность тока; γ – удельная проводимость; E – напряженность поля.

Так как в полупроводнике имеются носители заряда двух типов – электроны и дырки, то

$$j = e(n_{-}v_{-} + n_{+}v_{+}), \quad (2)$$

где n и v – концентрация и скорость упорядоченного движения носителей заряда соответственно.

Вводя подвижность носителей заряда $b = v / E$, т.е. скорость их направленного движения, в поле единичной напряженности, получим для удельной проводимости

$$\gamma = e(n_{-}b_{-} + n_{+}b_{+}). \quad (3)$$

Температурная зависимость проводимости полупроводника связана с изменением концентрации и подвижности электронов и дырок с температурой

$$\gamma = \gamma_0 \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right). \quad (4)$$

Так как $R = 1 / \gamma$, то

$$R_T = R_0 \cdot e^{+\frac{\Delta W}{2kT}} = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (5)$$

где $A = R_0$ – сопротивление при $T = 0$ К, а $B = \frac{\Delta W}{2k}$.

Логарифмируя выражение (5), получим

$$\ln R_T = \ln A + B \frac{1}{T}. \quad (6)$$

Если продифференцировать уравнение (6), то окажется, что температурный коэффициент сопротивления полупроводника

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} = -B \frac{1}{T^2} = \alpha(T), \quad (7)$$

является отрицательной величиной.

Следовательно, откладывая по оси ординат $\ln R$, а по оси абсцисс $1/T$, получим в области относительно низких температур прямую, угловой коэффициент которой определяет энергию активации примеси ΔW (область I на рис. 1).

Исходя из анализа свойств полупроводника и схем, позволяющих снимать вольт-амперную характеристику диода, была разработана структурная схема макета.

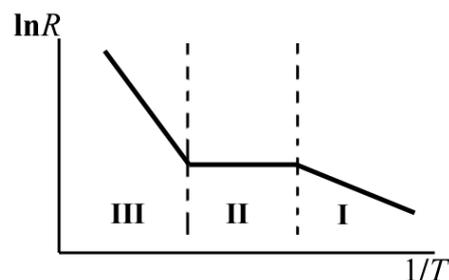


Рис. 1

На рис. 2 приведена структурная схема лабораторного макета. В состав макета входят следующие блоки: блок управления; вольтметр; датчик тока; регулируемый источник напряжения; нагреватель; датчик температуры; полупроводниковый диод, свойства которого исследуются.

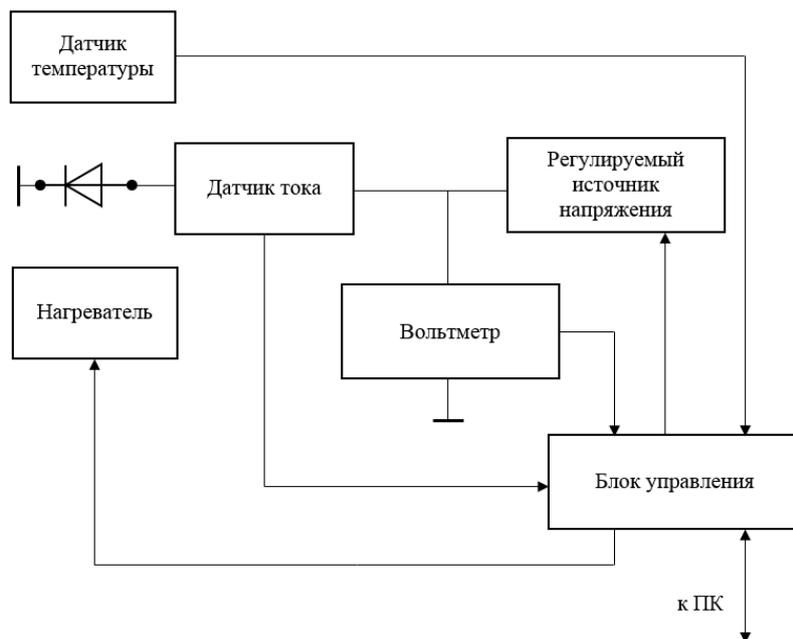


Рис. 2

Для того чтобы построить вольт-амперную характеристику, необходимо сделать несколько измерений силы тока в зависимости от поданного напряжения. Для этого в макете есть датчик тока и регулируемый источник напряжения.

Вольтметр предназначен для контроля напряжения на диоде при измерении силы тока.

Управляет процессом построения вольт-амперной характеристики блок управления. Согласно алгоритму работы микроконтроллера формируется двоичный код на его выходе, который дальше переводится в напряжение с помощью цифро-аналогового преобразователя.

После каждого цикла изменения напряжения на выходе ЦАП происходит измерение тока и передача полученных значений на персональный компьютер для построения вольт-амперной характеристики.

Для исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры в макете применяется нагреватель и датчик температуры.

В данном режиме работы блок управления повторяет цикл шагов по измерению вольт-амперной характеристики, но каждый раз задает различную температуру нагревателя. В данном случае на персональный компьютер передаются следующие данные: температура нагрева полупроводника, полученная с помощью датчика температуры; напряжение, полученное с помощью соответствующего датчика; и измеренное значение тока.

Таким образом, программа, которая получает все указанные данные, может построить вольт-амперную характеристику полупроводника, которая будет отличаться в зависимости от температуры.

Чтобы исследовать, как ведет себя полупроводник при подаче на него обратного напряжения в данную структурную схему (рис. 2) надо добавить блок изменения полярности подключения полупроводника. Это можно сделать с помощью реле с двумя группами контактов.

На рис. 3 приведена измененная структурная схема с блоком изменения полярности подключения полупроводника.

В данной схеме добавлен блок «Реле». Управление реле осуществляется с помощью выходных сигналов с блока управления. Режим работы реле отображается в блоке индикации.

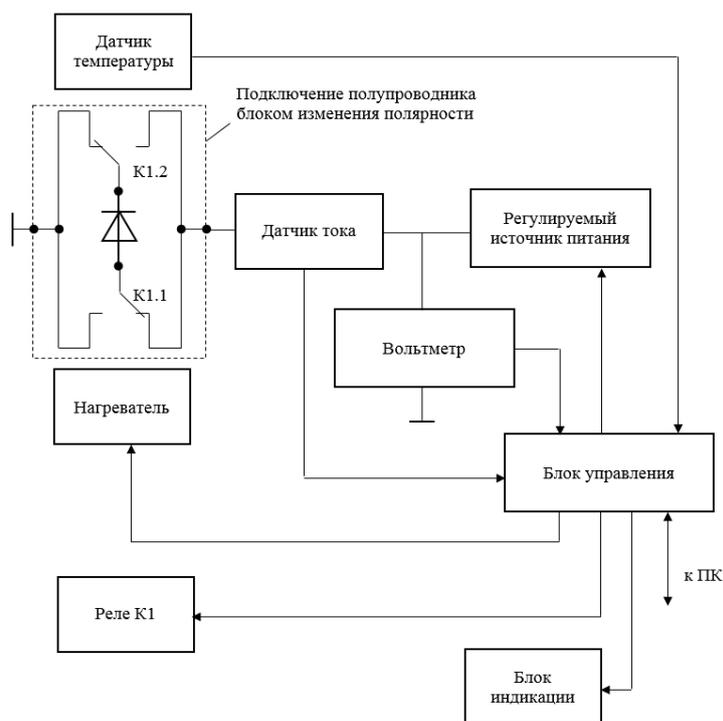


Рис. 3

В нормальном режиме, когда реле выключено, его контакты К1.1 и К1.2 подключают полупроводник к напряжению, как показано на рис. 3. То есть это прямое включение диода. Если нужно изменить режим тестирования, то на реле подается сигнал, приводящий к его включению. Тогда контакты реле включают диод к схеме в обратном направлении.

Разработка алгоритма работы блока управления

Алгоритм работы блока управления показан на рис. 4. Исходя из разработанной структурной схемы алгоритм работы устройства будет следующим:

1. При включении питания макета реле К1 выключено. Его контакты подключают диод к схеме в прямом направлении.
2. Блок управления дает команду регулируемому источнику напряжения установить напряжение 0 В.
3. Для проведения исследования необходимо включить нагреватель и задать температуру.
4. Блок управления ожидает, пока температура не достигнет установленного значения.
5. После стабилизации температуры выполняется изменение напряжения на диоде на +0,1 В.
6. После изменения напряжения блок управления считывает данные с датчиков тока и температуры.
7. После получения данных измерения они передаются на ПК для дальнейшей обработки и построения вольт-амперной характеристики.
8. Шаги 3-5 повторяются до тех пор, пока не будет достигнуто максимально допустимое напряжение на диоде.
9. После получения характеристики диода блок управления дает команду регулируемому источнику напряжения установить напряжение 0 В.

Таким образом, приведенный алгоритм позволяет получить различные вольт-амперные характеристики полупроводника в зависимости от температуры.

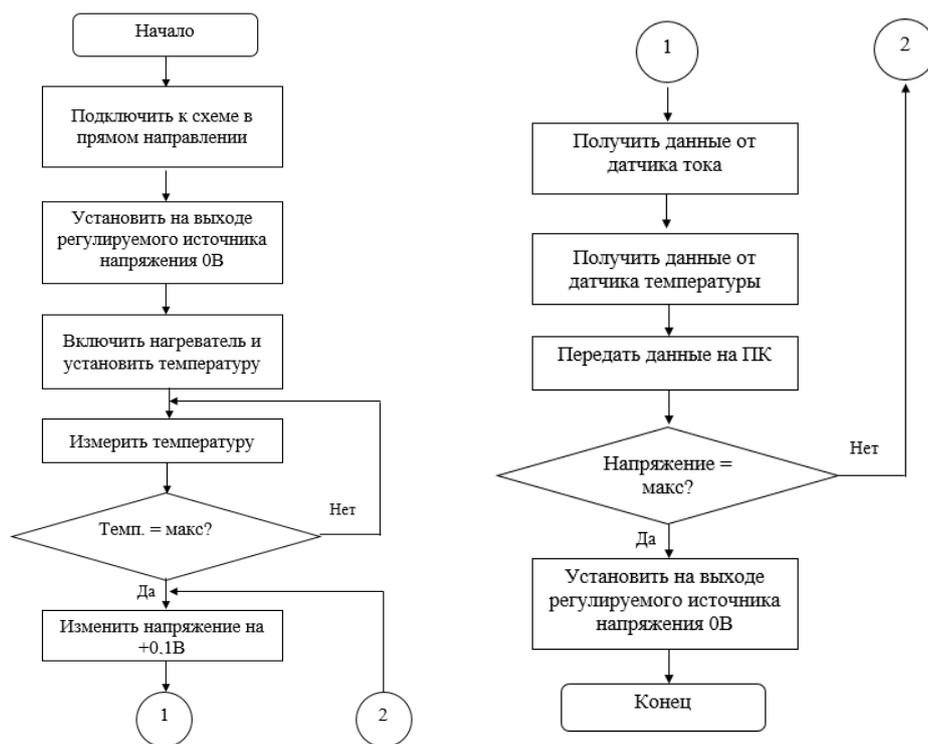


Рис. 4

Выводы

Проанализированы физические основы полупроводников, показана зависимость сопротивления полупроводника от температуры. Проведен анализ возможностей и конструктивного исполнения лабораторных макетов. Приведены структурные схемы макета для исследования зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры. Разработан алгоритм работы устройства в режиме исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры.

Предложена методика проведения экспериментов на основе данной лабораторной установки с использованием регулируемого источника питания и программного управления ходом эксперимента. Данная лабораторная установка позволяет выполнять исследования основных физических явлений при проведении лабораторных работ, при выполнении исследований студентами, магистрами и аспирантами учебных организаций.

Список литературы: 1. *Галушак, М. О.* Автоматизированный комплекс для вимірювань термоелектричних параметрів напівпровідників / М. О. Галушак, Б. С. Дзундза, А. І. Ткачук, Д. М. Фреїк // Методи та прилади контролю якості. – 2013. – №1(30). – С. 79-83. 2. *Зайцев, Р. В.* Автоматизированный измерительный комплекс вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов / Р. В. Зайцев, М. В. Кириченко, Д. С. Прокопенко // VI Междунар. Интернет-конф. молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech 2014) 1-30 ноября 2014 г., Тезисы докладов. – Пермь : ПНИПУ, 2014. 3. *Зимин, А.М.* Учебная Интернет-лаборатория «Испытания материалов» / А.М. Зимин, Б.В. Букетин, А.П. Почуев, А.В. Шумов, О.А. Щепетинщиков // Информ. технологии. – 2006. – № 10. – С. 58-65. 4. *Бутырин И. А., Васьюковская Т. А., Каратаева В. В., Материкин С. В.* Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе Lab VIEW 7. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 264 с. 5. *Зюбин В. Е.* «Си с процессами»: язык программирования логических контроллеров // Мехатроника. – 2006. – № 12. – С. 31-35. 6. *Зюбин В. Е.* Программирование информационно-управляющих систем на основе конечных автоматов : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : Новосибирск. гос. ун-т. – 2006. – 96 с. 7. *Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л., Прокопенко Н.Н.* Особенности аналоговых интерфейсов датчиков // Современная электроника. – 2013. – № 2, 3. 8. *Гавриков А.А.* Способы и средства измерения теплового импеданса светодиодов на основе широтно-импульсной модуляции греющей мощности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ульяновский гос. техн. ун-т. – Ульяновск, 2012.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 10.04.2016