

Автоматизация измерения теплового сопротивления для исследования свойств полупроводников

Сергей Новоселов, Оксана Сычева

Кафедра КИТАМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, УКРАИНА,
Харьков, пр. Науки. 14, email: oksana.sychova@nure.ua

Аннотация: В данной работе предложена конструкция лабораторной установки и методика автоматизированного исследования зависимости сопротивления полупроводника от температуры с возможностью управления ходом эксперимента с помощью персонального компьютера. Представлены структурные схемы устройства и алгоритм работы.

Ключевые слова: радиоэлектронные системы, полупроводники, температура, проводимость, сопротивление.

I. ВВЕДЕНИЕ

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. Поэтому измерение и контроль теплового сопротивления приобретает особую важность для мощных светодиодов, у которых большая рассеиваемая мощность может вызвать сильный перегрев кристалла с последующими негативными последствиями.

Целью данной работы является разработка структурной схемы лабораторной установки и алгоритма управления ходом эксперимента при помощи микроконтроллерного измерительного модуля, который позволит проводить исследования зависимости сопротивления полупроводников от температуры с использованием регулируемого источника питания и программного управления ходом эксперимента.

II. ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Полупроводники, у которых имеется равное количество носителей заряда – электронов проводимости и «дырок», называются полупроводниками с собственной проводимостью. Для возникновения собственной проводимости чистого полупроводника необходимо электрон перебросить из зоны B в зону C . Для этого необходимо затратить энергию, которая называется энергией активации собственной проводимости (ΔW) и определяется шириной запрещенной зоны.

Кроме полупроводников с собственной проводимостью существуют примесные полупроводники. Наличие примесей дает возможность менять свойства полупроводников и получать полупроводники, обуславливающие одностороннюю проводимость. Такие полупроводники используются в качестве выпрямителей и усилителей тока.

По величине удельной проводимости полупроводники занимают промежуточное положение между металлами и изоляторами (диэлектриками). Полупроводники имеют ряд общих свойств как с диэлектриками, так и с металлами.

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

При нагревании проводимость металлов медленно падает, а проводимость полупроводников, также 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

$$\gamma = e(n \cdot b_- + n_+ \cdot b_+). \quad (3)$$

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 α , равный

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

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).

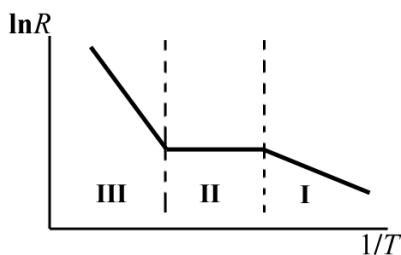


Рис.1. Температурная зависимость концентрации электронов в полупроводнике n-типа

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

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

Для того чтобы построить вольт-амперную характеристику необходимо сделать несколько измерений силы тока в зависимости от поданного напряжения. Для этого в установке 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, положенного в работу 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.

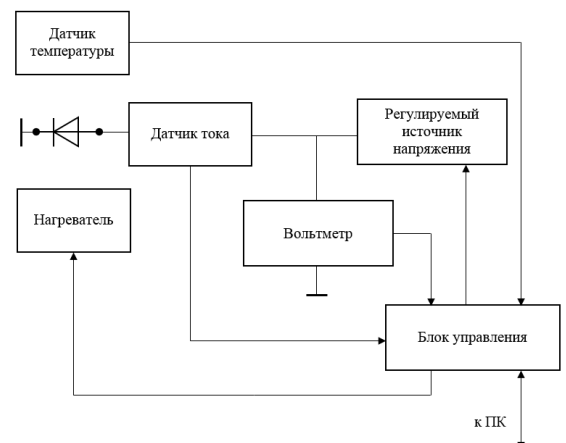


Рис.2. Структурная схема установки для исследования сопротивления полупроводника

Для исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры в устройстве 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.

В нормальном режиме, когда реле выключено его контакты K1.1 и K1.2 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.

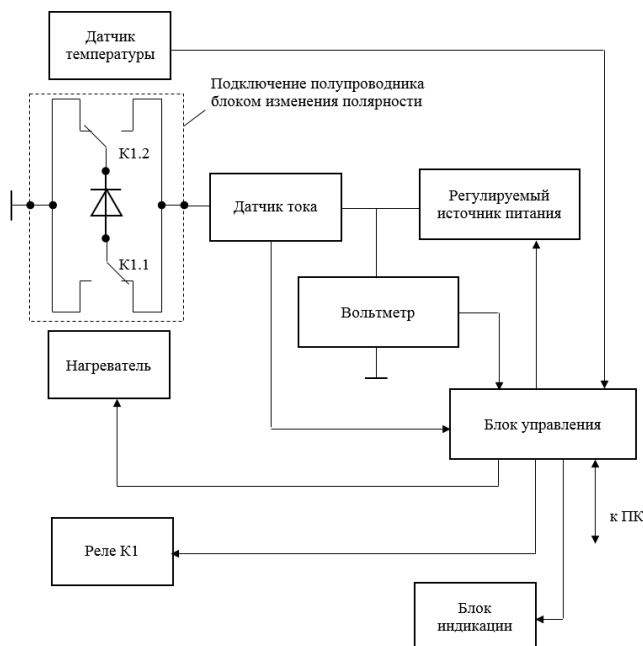


Рис.3. Структурная схема установки с блоком изменения полярности подключения полупроводника

III. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

Алгоритм работы блока управления показан на рис. 4.



Рис.4. Алгоритм работы устройства в режиме исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры.

Исходя из разработанной структурной схемы, алгоритм работы устройства будет следующим:

1. При включении питания реле K1 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 датчика 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.

IV. ВЫВОДЫ

В данной работе были проанализированы физические основы полупроводников, показана зависимость сопротивления полупроводника от температуры. Приведены структурные схемы установок для исследования зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры. Разработан алгоритм работы устройства в режиме исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [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 Международная Интернет-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech 2014) 1-30 ноября 2014 г., Тезисы докладов. – Пермь: ПНИПУ, 2014 г.
- [3] Зимин, А.М. Учебная Интернет-лаборатория «Испытания материалов» / А.М. Зимин, Б.В. Букетин, А.П. Почуев, А.В. Шумов, О.А. Щепетинщиков // Информационные технологии. – 2006. – № 10. – С. 58-65.
- [4] Бутырин И. А., Васильковская 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. Новосиб. гос. ун-т, Новосибирск. – 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] Baker B. Temperature Sensing Technologies. Microchip Technology Inc. AN679.