

КОМПЕНСАЦИОННАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЕРЕХОДА КРЕМНИЕВОЙ $p^+ - p - n^+$ -СТРУКТУРЫ© 2013 г. О. А. Абдулхаев, Д. М. Ёдгорова, А. В. Каримов, А. А. Каримов,
А. А. Кахоров, Ж. Ж. КаландаровФизико-технический институт НПО “Физика–Солнце” АН РУз
Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Бодомзор йули, 26

E-mail: karimov@uzsci.net

Поступила в редакцию 05.07.2011 г.

После доработки 01.06.2012 г.

Рассмотрен принцип определения температуры активного перехода, основанный на измерении температурной зависимости прямого падающего напряжения компенсационным методом. Это обеспечивает непосредственную калибровку зависимости температуры перехода от падающего напряжения. На примере с.в.ч.-диода на кремниевой $p^+ - p - n^+$ -структуре определены зависимости температуры перехода от протекающего постоянного тока и прилагаемой импульсной мощности с различной частотой.

DOI: 10.7868/S0032816213030014

ВВЕДЕНИЕ

Такие полупроводниковые приборы, как биполярные транзисторы, светодиоды, стабилизаторы напряжения и с.в.ч.-диоды, используются в режиме значительных рабочих токов. В этих условиях их долговечность, стабильность параметров, дрейф обратного тока, пробойные напряжения и выдерживаемые мощности напрямую зависят от рабочей температуры активного перехода. В связи с этим необходимо знать зависимость температуры перехода от режимов эксплуатации, особенно применительно к полупроводниковым структурам, работающим с импульсными перегрузками. В отличие от многочисленных работ, например [1–3], где рассматривается применение полупроводниковых приборов с $p - n$ -переходом для определения температуры внешней среды, настоящая работа посвящена исследованию зависимости температуры $p - n$ -перехода от выделяемой мощности при воздействии протекающего постоянного тока и импульсной мощности с различной частотой.

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕХОДА

Температуру $p - n$ -перехода можно определить, измерив температуру кристалла. Однако ее значение может отличаться от температуры активной области $p - n$ -перехода. Применительно к диодам и светодиодам температуру на $p - n$ -переходах целесообразно определять по калибровочным зависимостям падающего напряжения на прямосмещаемом переходе от температуры. Это обусловлено тем, что в режиме прямого смещения $p - n$ -пере-

хода в области токов, сравнимых с обратным током, напряжение на $p - n$ -переходе линейно зависит от температуры и преимущественно определяется температурной зависимостью ширины запрещенной зоны базовой области [4]:

$$\frac{dV_f}{dT} = \frac{eV_f - E_g}{eT} + \frac{1}{e} \frac{dE_g}{dT} - \frac{3k}{e},$$

где V_f – прямое падающее напряжение; e – заряд электрона; E_g – ширина запрещенной зоны; T – температура; k – постоянная Больцмана.

В представленном методе используется измерение разности между напряжением, относительно зафиксированным при изначально заданной температуре, и напряжением на $p - n$ -переходе при температуре, создаваемой при нагреве, т.е. метод является компенсационным.

Метод определения температуры $p - n$ -перехода состоит в следующем. На диод, размещенный в термокамере, от одного источника тока подается напряжение в прямом направлении, и устанавливается начальная температура. На нагрузке второго источника тока создается напряжение, равное падающему на $p - n$ -переходе, и снимается зависимость разности напряжений на нагрузке и на $p - n$ -переходе от температуры для контрольных точек. Полученная таким образом кривая принимается за калибровочную для исследуемого диода.

Далее исследуемый диод переключают в режим большого тепловыделения, а после установления теплового равновесия вновь возвращают в режим измерения температуры. По калибровочной кривой определяют температуру данного воздействия (тока, импульса мощности).

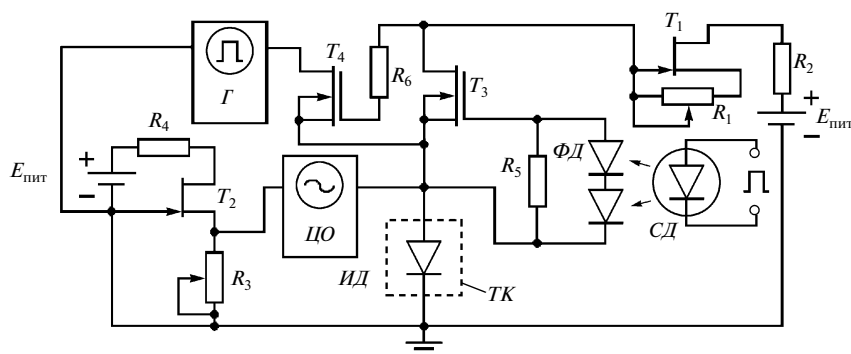


Рис. 1. Электронная схема установки для измерения температуры $p-n$ -перехода. ИД – исследуемый диод, СД – светодиод, ТК – термокамера, ФД – фотодиод, Г – генератор; ЦО – цифровой осциллограф.

Переключение из режима воздействия мощного тока в режим измерения температуры осуществляется электронным ключом, управляемым световым импульсом (рис. 1). Установка для измерения температуры $p-n$ -перехода состоит из двух блоков: компенсационного измерительного блока на полевых транзисторах T_1 , T_2 и быстродействующего блока электронного ключа на двух м.о.п.-транзисторах T_3 , T_4 .

От источника питания $E_{\text{пит}}$ через транзистор T_1 , ток которого регулируется резисторами R_1 и R_2 , напряжение подается на канал м.о.п.-транзистора T_3 и к затвору м.о.п.-транзистора T_4 . При наличии управляющего импульса от светодиода СД на затворе полевого транзистора фотодиод ФД создает напряжение, которое открывает канал, и ток поступает на измеряемый диод ИД (помещенный в термокамеру ТК), вывод которого подсоединен к истоку полевого м.о.п.-транзистора T_4 и осциллографу. При этом падающее на измеряемом диоде напряжение, соответствующее нулевой температуре камеры, компенсируется напряжением, пода-

ваемым от транзистора T_2 . Далее для калибровки температура камеры повышается с определенным шагом, и показания принимаются как градуированные.

На следующем этапе при выключении управляющего светового импульса канал м.о.п.-транзистора T_3 закрывается, и напряжение переходит на затвор м.о.п.-транзистора T_4 . Канал последнего принимает проводящее состояние, и импульсный ток от генератора будет подаваться на исследуемый диод, разогревая его $p-n$ -переход.

Исследовались с.в.ч.-диоды на основе кремниевых p^+-p-n^+ -структур. Выбор этих диодов связан с тем, что толщина их базы составляет 250–500 мкм, поэтому время включения диода в режиме измерения будет меньше времени релаксации теплового потока. Кроме того, электронный ключ обладает меньшей длительностью переходных процессов переключения по отношению к частоте следования переключающих импульсов [5].

Согласно разработанному методу, строится температурная зависимость падающего напряжения на $p-n$ -переходе. Для этого рабочее напряжение на диоде, запитываемом от источника тока, применительно к исследуемой p^+-p-n^+ -структуре выбирается на начальном участке его вольт-амперной характеристики, т.е. <0.4 (рис. 2), где токи $<10^{-4}$ А/см². По мере увеличения температуры термостата падающее напряжение уменьшается, и разность напряжений увеличивается.

Температура перехода определялась при пропуске прямого тока через $p-n$ -переход (см. рис. 1), светодиод был выключен. После стабилизации пропускаемого через диод тока светодиод включали импульсом и измеряли падающее на $p-n$ -переходе напряжение. Затем диод помещали в термокамеру с заданной начальной температурой T_0 . С помощью резистора R_1 устанавливали величину прямого падающего напряжения на переходе и одновременно компенсировали его напряжением, подаваемым от источника стабильного то-

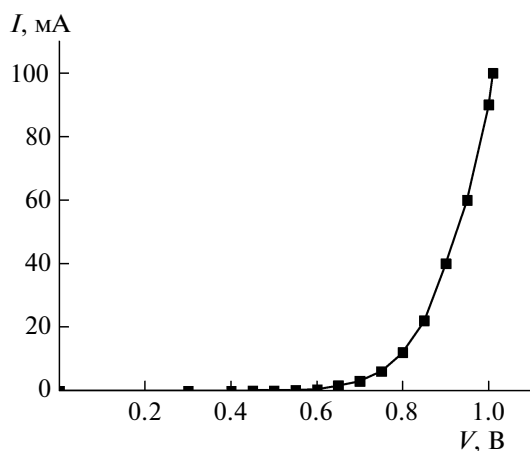


Рис. 2. Прямая вольт-амперная характеристика $p-i-n$ -диола.

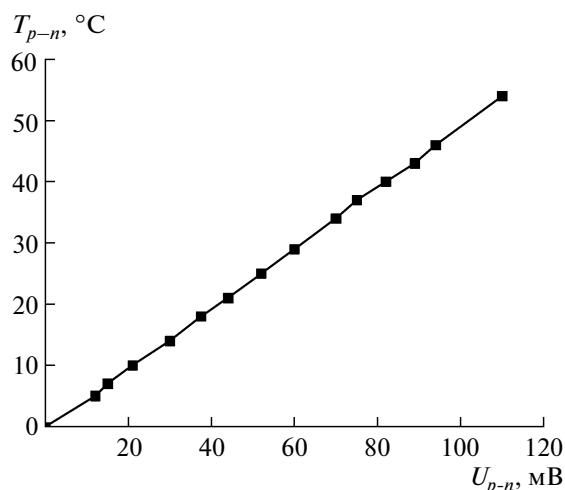


Рис. 3. Зависимость температуры перехода от падающего напряжения.

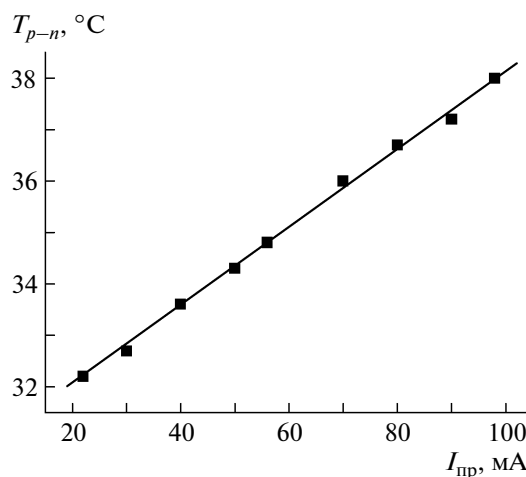


Рис. 4. Зависимость температуры перехода p^+-p-n^+ -структуры от прямого постоянного тока.

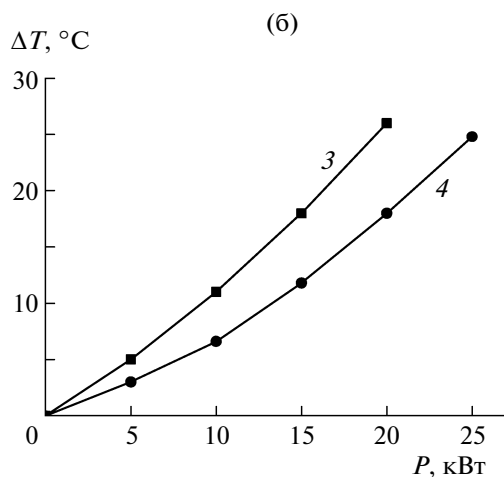
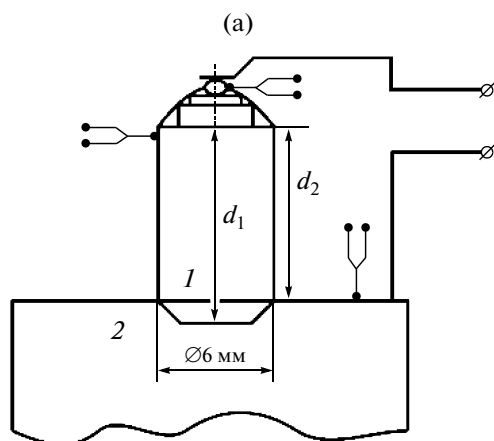


Рис. 5. а – схематический вид исследуемой кремниевой диодной p^+-p-n^+ -структуры (1 – посеребренный медный корпус диода, 2 – основание для крепления диода); б – зависимости приращения температуры $p-n$ -перехода (3) и корпуса (4) от падающей импульсной мощности

ка и регулируемым с помощью сопротивления R_3 . Светодиод при этом был включен, и канал м.о.п.-транзистора T_3 находился в проводящем состоянии (см. рис. 1). После чего снимали зависимость падающего напряжения от заданных фиксированных температур $U = f(T)$ (рис. 3), которая и представляет собой калибровочную кривую.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 4 приведена определенная вышеописанным способом зависимость температуры $p-n$ -перехода от прямого тока. Согласно рисунку, при пропускании прямого тока от 20 до 100 мА темпе-

ратура перехода для данного образца линейно повышается от исходной (T_0) до 38°C.

Также были исследованы распределения температуры по корпусу диода путем непосредственного измерения температуры (встроенной термопарой) корпуса и верхнего контакта в виде шарика к области n -типа [6] (рис. 5). Исследования показали, что при подаче импульсной мощности сначала повышается температура перехода за счет выделяемой мощности, после чего тепло через корпус распространяется в окружающую среду. Согласно рис. 5б, температура корпуса меньше температуры $p-n$ -перехода, и различие температур увеличивается с повышением импульсной мощности.

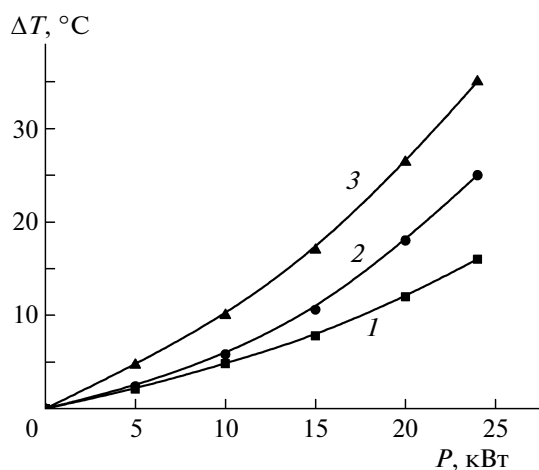


Рис. 6. Зависимости температуры перехода от частоты импульсов: 8 Гц (1), 40 Гц (2), 400 Гц (3).

Так как исследуемые диоды предназначены для работы в импульсном режиме, были исследованы зависимости температуры $p-n$ -перехода от прилагаемой импульсной мощности (рис. 6). Длительность прямоугольного импульса равнялась 2.5 мкс. Частота импульсов составляла: 8 Гц

при скважности $Q = 50000$, $f = 40$ Гц при $Q = 10000$, а также $f = 400$ Гц при $Q = 1000$.

Согласно рис. 6, с увеличением частоты импульса для заданных мощностей температура перехода повышается. Средняя энергия для кривой 2 в пять раз больше, чем для кривой 1, а для кривой 3 больше на порядок. Наблюдаемые зависимости (рис. 6) указывают на то, что при больших средних энергиях отвод тепла становится эффективным.

С увеличением прилагаемой импульсной мощности температура перехода возрастает нелинейно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленов Г.Я. // Современная электроника. 2007. № 2. С. 38.
2. <http://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=52427>
3. Аш Ж. Датчики измерительных систем. Кн. 1. М.: Мир, 1992; <http://www.mami.ru/kaf/aipu/techizm4.doc>
4. Sze S.M., Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. Hoboken—New Jersey: Wiley-Interscience, 2007. 3-rd ed. P. 94.
5. Сергеев Б. // Современная электроника. 2006. № 6. С. 38.
6. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А. и др. // ТКЭА. 2011. № 6. С. 43.