

УДК 681.3

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Сычик В.А., Уласюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Полупроводниковый светодиодный элемент, содержащий p - и n -слой, омические контакты к ним, выполнен p - i - n структурой из широкозонного полупроводника с сильнолегированными p^+ - и n^+ -слоями толщиной $(0,7-0,9)Ld$, а толщина i -слоя собственной проводимости равна $(1,1-1,6)Ld$, где Ld – диффузионная длина носителей заряда.

Ключевые слова: полупроводник, p - n переход, металлическое основание, омический контакт, концентрация примеси, сильнолегированный слой, рекомбинация носителей, потенциальный барьер.

SEMICONDUCTOR LED ELEMENT

Sychyk V.A., Ulasiuk M.M.

Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A semiconductor LED element containing a p - and n -layer, ohmic contacts to them, is made of a p - i - n structure from a wide-gap semiconductor with highly regulated p^+ - and n^+ - layers with a thickness of $(0.7-0.9)Ld$, and the thickness of the i -layer intrinsic conductivity is equal to $(1.1-1.6)Ld$, where Ld is the diffusion length of charge carriers.

Keywords: semiconductor, p - n junction, metal base, ohmic contact, impurity concentration, heavily doped layer, carrier recombination, potential barrier.

Адрес для переписки: Сычик В.А. пр-т Рокоссовского, 49-18, г. Минск, 220095, Республика Беларусь
e-mail: bntu@bntu.by

Полупроводниковый светодиодные элементы являются базовыми структурами полупроводниковых светодиодов-важнейших приборов оптоэлектроники, которые эффективно используются в системах освещения, в качестве цифровых индикаторов и устройств измерительных преобразователей [1].

Разработан полупроводниковый элемент на основе p^+ - i - n^+ структуры, обладающий высокими электрооптическими свойствами.

Структура полупроводникового светодиодного элемента (ПСДЭ) изображена на рисунке 1.

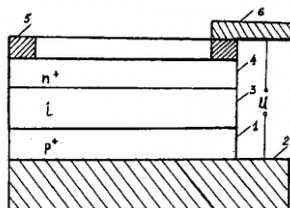


Рисунок 1 – Структура полупроводникового светодиодного элемента

Конструктивно ПСДЭ состоит из полупроводниковой p - i - n структуры, из широкозонного полупроводника, включающей p^+ -слой 1, размещенный на металлическом основании 2, являющийся омическим контактом к p^+ -слою 1, i -слой 3 собственной проводимости и n^+ -слой 4, по периметру которого нанесен омический контакт 5 с внешним выводом 6.

i -слой полупроводниковой p - i - n структуры, который с p^+ -слоем создает первый p^+ - i переход и с n^+ -слоем создает второй n^+ - i переход, изготов-

ливается как и p^+ -слой и n^+ -слой из широкозонного полупроводника, обладающего большой подвижностью носителей, большой диффузионной длиной, низкой концентрацией собственных носителей заряда и возможностью создавать в его объеме сильнолегированные слои, это например арсенид галлия. Толщина i -слоя определяется сто процентной рекомбинацией инжектированных в его область через прямосмещенные p^+ - i первый переход дырок и n^+ - i второй прямосмещенный переход электронов и составляет $(1,1-1,6)Ld$, где Ld – диффузионная длина носителей заряда. Сильнолегированный p^+ -слой широкозонного полупроводника сформирован на металлическом основании путем введения акцепторной примеси с высокой концентрацией $N_A \cong (10^{20}-10^{21}) \text{ см}^{-3}$, обладает малым электросопротивлением и обеспечивает омический контакт с металлическим основанием. Его толщина определяется максимальным переносом инжектированных в него от внешнего источника питания потоком дырок и, как показали результаты эксперимента, составляет $(0,7-0,9)Ld$. Аналогичной концентрацией легирующей донорной примеси ($N_D \cong (10^{20}-10^{21}) \text{ см}^{-3}$) обладает n^+ -слой, размещенный на i -слое. Его толщина также определяется максимальным переносом инжектированным в него от внешнего источника питания потоком электронов и составляет $(0,7-0,9)Ld$. Омическим контактом к сильнолегированному n^+ -слою является проводящий слой толщиной $1,0-5 \text{ мкм}$, на котором размещен внешний металлический вывод. К внешним выводам прикладывается напряжение питания.

Полупроводниковый светодиодный элемент работает следующим образом.

При подаче напряжения питания U_a прямой полярности через внешние выводы 1 и 6 на полупроводниковый светодиод, потенциальные барьеры p^+-i и n^+-i переходов φ_{01} и φ_{02} снижаются соответственно на величину eU_1 и eU_2 , то есть $\varphi_1 = \varphi_{01} - eU_1$ и $\varphi_2 = \varphi_{02} - eU_2$. Поскольку ток в $p-i-n$ структуре неизменный, то соответственно $U_1 = U_2 = U$. Потоки инжектированных электронов из n^+ -слоя и дырок из p^+ -слоя в i -слой собственной проводимости составят

$$I_n \cong I_p = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

где I_s – ток насыщения перехода.

При этом концентрации инжектированных в i -слой 3 электронов и дырок составят

$$\begin{aligned} \Delta n &\cong n_i \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right], \\ \Delta p &\cong n_i \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

В i -слое собственной проводимости инжектированные электроны и дырки полностью рекомбинируют друг с другом по механизму зона-зона с выделением в каждом акте рекомбинации квантов света. Длина волны выделяемого светового излучения

$$\lambda = hc/E_g, \quad (3)$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света, E_g – ширина запрещенной зоны i -слоя. Яркость светового излучения светодиода пропорциональна проходящему через него току $V = V_0(I_g - I_n)$, где I_g , I_n – соответственно прямой ток светодиода и его пороговый ток, V_0 – постоянная светодиода, $V_0 \cong 0,1-2,5$ мА. Поскольку сильнолегированные p^+ -слой 1 и n^+ -слой обладают высокой проводимостью и падения напряжения на этих слоях минимальны, то ток через светодиод, а следовательно и яркость его

светового излучения экспоненциально возрастают с ростом приложенного напряжения питания.

Создано экспериментальное устройство – полупроводниковый светодиод, выполненный на цинковом основании со структурой p^+-i-n^+ на основе арсенида галлия. n^+ -слой выполнен из GaAs, легированного Te с концентрацией примеси $N_D \cong 5 \cdot 10^{20}$ см⁻³ и толщиной 0,8 мкм; i -слой собственной проводимости сформирован из GaAs с собственной концентрацией $n_i = p_i \cong 10^{10}$ см⁻³ и толщиной 1,6 мкм; p^+ -слой выполнен из GaAs, легированного Zn с концентрацией $N_A \cong 5 \cdot 10^{20}$ см⁻³, обладает толщиной 0,9 мкм. Верхний омический контакт выполнен из олова шириной 20 мкм и толщиной 5 мкм, к которому подключен внешний вывод из никеля.

Экспериментальный полупроводниковый светодиод размером полезной площади 10 мм² при величине протекающего прямого тока в интервале 50–100 мА обеспечивает оптическое излучение в видимой области яркостью $V = 150-200$ кэ/см². КПД полупроводникового светодиода достигает 24 %, а КПД аналогов не превышает 15 %.

Предлагаемый полупроводниковый светодиодный элемент в сравнении с аналогами:

1. Более чем в два раза возрастает яркость выходного светового излучения.
2. Более чем в 1,5 раза возрастает КПД.

Промышленное освоение предлагаемого полупроводникового светодиодного элемента возможно на предприятиях электронной промышленности.

Литература

1. Ермаков, О.Н. Светодиоды на основе эпитаксиальных $p-n$ структур / О.Н. Ермаков, В.Н. Мартынов // Изв. вузов. Материалы электронной техники. – 2002. – № 3. – С. 68–71.
2. Носов, Ю.Р. Новые поколения светодиодов / Ю.Р. Носов // Сборник научных трудов. Мос. гос. ун-та. – М. : Изд-во МГУП, 2021. – С. 31–37.