

07

## Фотовольтаические характеристики светодиодов на основе AlGaAs

© А.А. Соколовский

Фрязинский филиал института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Московская обл., Россия  
E-mail: asokol@list.ru

Поступило в Редакцию 13 декабря 2017 г.

Исследованы фотовольтаические характеристики более 20 типов светодиодов, излучающих в диапазоне 830–970 nm. Показано, что полупроводниковые структуры  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , применяемые для изготовления таких светодиодов, могут использоваться также для изготовления фотовольтаических преобразователей монохроматического излучения с достаточно высоким КПД.

DOI: 10.21883/PJTF.2018.08.45967.17154

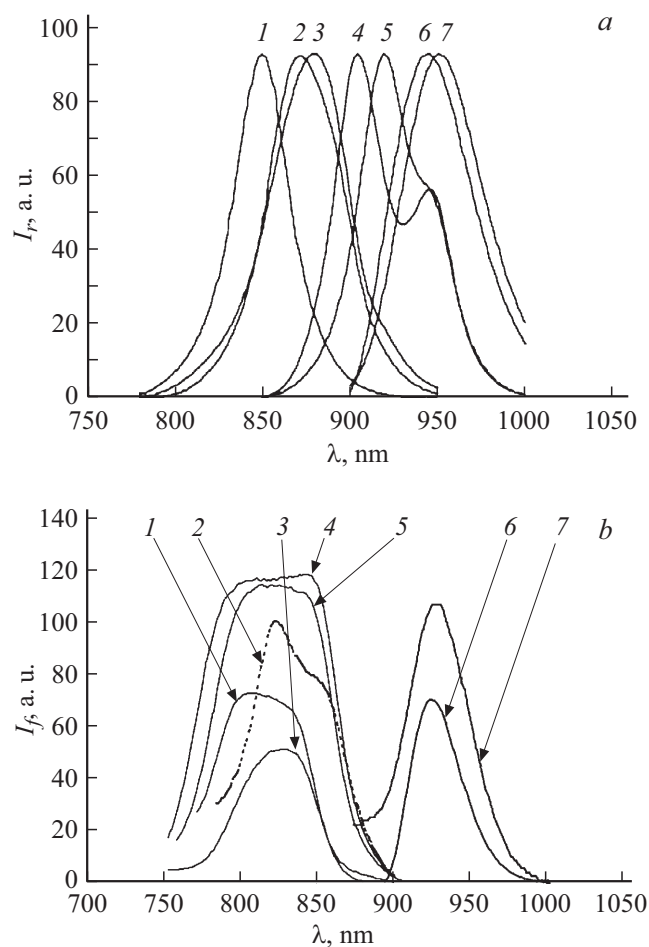
Известно [1–3], что светодиоды на основе AlGaAs могут работать в качестве фотовольтаических преобразователей монохроматического излучения. На основе таких преобразователей могут быть созданы простые и достаточно эффективные системы питания электронных схем оптическим излучением, что является перспективным для создания помехозащищенных измерительных систем [4,5].

В настоящей работе были проведены исследования фотовольтаических характеристик светодиодов на основе структур  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , предназначенных для генерации излучения в диапазоне длин волн 800–970 nm.

Были исследованы фотовольтаические характеристики светодиодов различных типов (АЛ107А, АЛ108А, АЛ115, АЛ118, АЛ156, АЛ157, L34F3C, L34SF4C, L34SF7BT, L34SF7C, L53SF4C, L53F3BT, L53SF6C, L53SF7BT, SE5450-014, TSAL4400, TSAL5100, TSAL6100, TSFF5210-01, TSFF5210-02 и др.).

На рис. 1 приведены характерные спектры излучения и фоточувствительности семи типов светодиодов.

Из приведенных спектров видно, что максимум чувствительности светодиодов в фотовольтаическом режиме смещен относительно линии



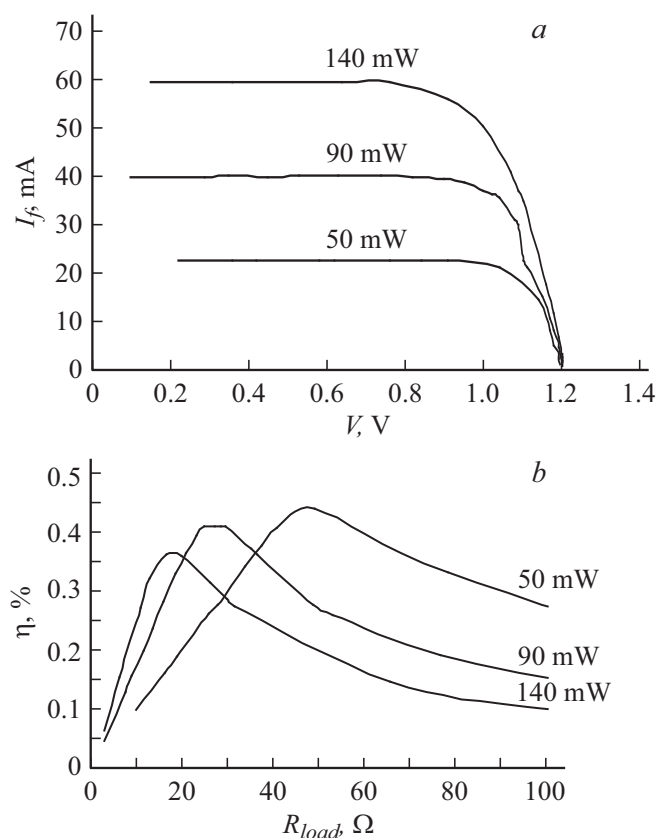
**Рис. 1.** Характерные спектры излучения (а) и фоточувствительности (b) семи различных светодиодов на основе  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ . 1 — L34SF7C, 2 — АЛ157, 3 — АЛ118, 4 — АЛ108А, 5 — АЛ156, 6 — АЛ115, 7 — АЛ107А.

излучения на 30–50 nm в сторону более коротких волн. Это соотношение характерно для всех исследованных образцов светодиодов на основе  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  независимо от типа и производителя. Так,

например, для светодиодов с длиной волны излучения 850–870 nm (что характерно для чистого GaAs в активной области) максимум фоточувствительности лежит в области 800–830 nm. У светодиодов АЛ107А, АЛ115 за счет сильного легирования активной области спектр излучения смещен до 950 nm, а максимум фоточувствительности лежит в диапазоне 900–910 nm.

Более детально в настоящей работе исследованы фотовольтаические параметры более 50 образцов светодиодов АЛ118 из разных партий. В качестве источника излучения использовался полупроводниковый лазер с длиной волны 808 nm и мощностью излучения в многомодовом волокне до 1 W. Излучение на светодиод подавалось с помощью многомодового оптического волокна с диаметром световедущей жилы 62.5  $\mu\text{m}$ . Светодиоды предварительно отбирались по максимальному значению тока короткого замыкания  $I_{sc}$ , который зависит не только от особенностей полупроводниковой структуры, но и от формы электродов, которые оптимизированы для светодиодного режима работы, погрешностей изготовления внешней линзы и других факторов. Для уменьшения потерь излучения часть линзы светодиода сошлифовывалась, после чего волокно юстировалось относительно фоточувствительной площадки для достижения максимального тока короткого замыкания и приклеивалось к светодиоду оптическим клеем. При таком способе ввода излучения в фотовольтаический преобразователь плотность мощности составляет более 3000 W/cm<sup>2</sup> (при входной мощности 100 mW), что может приводить к локальному перегреву структуры и требует обеспечения эффективного теплоотвода. Характерное напряжение холостого хода  $V_{oc}$  фотовольтаических преобразователей на основе светодиодов из  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  составляет при комнатной температуре  $1.26 \pm 0.02$  V. При изменении температуры напряжение  $V_{oc}$  линейно изменяется от  $1.35 \pm 0.02$  V (при  $-60^\circ\text{C}$ ) до  $1.21 \pm 0.02$  V (при  $+60^\circ\text{C}$ ). Среднее значение тока короткого замыкания  $I_{sc}$  в этом же диапазоне температур при оптической мощности 140–150 mW составляло  $50 \pm 10$  mA, причем максимальное значение  $I_{sc}$  достигается в диапазоне температур от  $-20$  до  $+30^\circ\text{C}$ .

Для различных значений мощности оптического излучения, подаваемого на светодиод (АЛ118), были получены нагрузочные характеристики в фотовольтаическом режиме, т.е. измерены значения тока и напряжения при различных сопротивлениях нагрузки. Полученные данные отражены на рис. 2, а. Эти данные также могут быть интерпретированы как зависимость КПД преобразования от сопротивления



**Рис. 2.** Вольт-амперные (а) и нагрузочные (b) характеристики светодиодов АЛ118 при работе в фотовольтаическом режиме.

нагрузки (рис. 2, b). Как видно из рис. 2, b, КПД достигает максимального значения ( $> 45\%$ ) при определенном сопротивлении нагрузки и мощности оптического излучения. Заметим также, что при уменьшении мощности оптического излучения наблюдается повышение КПД и смещение положения максимума КПД в сторону больших значений сопротивления нагрузки.

Максимальный КПД преобразования  $\eta$  можно оценить по формуле

$$\eta = k \frac{V_{oc} I_{sc}}{P_0},$$

где  $V_{oc}$  — напряжение холостого хода,  $I_{sc}$  — ток короткого замыкания,  $P_0$  — мощность оптического излучения,  $k$  — коэффициент заполнения.

Для исследованных светодиодов в фотовольтаическом режиме коэффициент заполнения  $k \approx 0.8$ . Токи короткого замыкания при падающей оптической мощности 50 mW достигают 26 mA, что обеспечивает **КПД фотовольтаического преобразования до 50%**. Это соизмеримо с характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе структур, изготовленных в [5].

При мощности излучения 500–600 mW ток короткого замыкания на некоторых фотовольтаических преобразователях достигал 150 mA, что при КПД около 15% позволяет питать достаточно энергоемкие электронные устройства.

Таким образом, показано, что полупроводниковые структуры  $Al_xGa_{1-x}As$ , используемые для изготовления светодиодов, могут применяться также для изготовления фотовольтаических преобразователей монохроматического излучения с достаточно высоким КПД. Достоинством таких фотовольтаических элементов является высокое (более 1.2 V) напряжение холостого хода, что позволяет питать некоторые электронные устройства без применения дополнительных повышающих преобразователей. КПД фотовольтаического преобразования можно существенно (до  $> 60\%$ ) увеличить при оптимизации формы внешних электродов [6] и просветлении структуры. Изготовление на основе светодиодных структур фотовольтаических преобразователей с большой ( $1\text{--}10\text{ mm}^2$ ) площадью позволит снизить плотность оптической мощности, увеличить рабочий ток и значительно увеличить надежность и ресурс их работы.

## Список литературы

- [1] Клайн Б.Р. Оптическая система электропитания для электронных схем с использованием одного фотогальванического элемента. Патент РФ 2431915. Публ. 20.10.2011.
- [2] Задворнов С.А. Исследование методов построения гибридных волоконно-оптических измерительных систем. Автореф. канд. дис. М.: Ин-т радиотехники и электроники РАН (Фрязинский филиал), 2009. 22 с.

- [3] *Соколовский А.А.* Микрооптические элементы и устройства для волоконно-оптических измерительных систем. Автореф. докт. дис. М.: Ин-т радиотехники и электроники (Фрязинский филиал), 2009. 39 с.
- [4] *Dumke M., Heiserich G., Franke S., Schulz L., Overmeyer L.* // J. Syst. Cybernet. Inform. 2010. V. 8. N 1. P. 55–60.
- [5] *Андреев В.М.* // Современ. электроника. 2014. № 6. С. 20–25.
- [6] *Algora C., Diaz V.* // IEEE Trans. Electron Dev. 1998. V. 45. N 9. P. 2047–2054.