

Александр Гончаров | Alexander_G_@rambler.ru | Виталий Лукаш | led@sibmail.com
Борис Ефимов | sneq@mail.tomsknet.ru | Василий Юрченко | sneq@mail.tomsknet.ru

Светодиодный отоскоп

В медицинской практике часто применяются отоскопы и включающие их диагностические наборы, например фирм Heine optotechnik (Германия) и Welch Allyn (США). Они, как правило, предназначены для применения в кабинетах ЛОР-специалистов и имеют следующие недостатки:

- высокая цена;
- высокая температура колбы источника света (газонаполненная или галогенная лампа);
- большое энергопотребление (рабочий ток 200–800 мА);
- низкая надежность источников света (срок службы 15–30 ч);
- большие эксплуатационные затраты на источники света и элементы автономного питания.

В статье описано создание отоскопа, в который заложены терапевтические функции (фототерапия с использованием источников ИК-диапазона, красного, синего и зеленого свечения). В отоскопе использованы «холодные» источники излучения нового поколения с малым энергопотреблением (ток 20–40 мА) и большим сроком службы (свыше 10000 ч), что позволит более чем в 20 раз снизить эксплуатационные расходы.

Разработка отоскопа на основе эффективных твердотельных модулей миниатюрного исполнения для медицинской техники в настоящее время является актуальной задачей и значительно улучшит технические и эксплуатационные характеристики. Несмотря на большой интерес, проявляемый к полупроводниковым излучателям, в литературе отсутствуют данные об использовании их в качестве миниатюрных источников света в специальной аппаратуре, в частности, медицинской. Более того, отсутствуют специфические данные, позволяющие однозначно ответить на вопрос применимости полупроводниковых источников в качестве осветителей для биологических объектов, и не описаны особенности их использования в аппаратуре с автономным питанием, например от аккумуляторных батарей.

Светодиодный отоскоп (СО) рассчитан на широкое применение и предназначен для оснащения участковых педиатров, отоларингологов, врачей скорой помощи, участковых врачей, особенно в сельской местности. Возможно использование устройства в ветеринарной практике. На дешевый прибор будет спрос и среди студентов медицинских учреждений. Более широкий рынок сбыта такого СО по

сравнению с аналогами также обусловлен наличием в устройстве терапевтических функций (фототерапия с использованием источников ИК-диапазона, красного, синего и зеленого свечения).

В соответствии с основным назначением СО должен обеспечивать:

- функции отоскопа с применением 2,5-кратной съемной линзы с поворотным механизмом для диагностики и хирургии;
- функции дерматоскопа с применением дополнительно 4-кратной линзы-насадки.

Расчет двояковыпуклых линз, применяющихся в оптической головке СО, был произведен с разделением конструктивных элементов линз на две группы: первая — с элементами, которые характеризуют оптическое действие линзы и определяются при расчете оптической системы; вторая — с элементами, зависящими от способа крепления линзы. При расчете конструктивных элементов линз первой группы были использованы константы оптического стекла и технические требования на его термообработку.

Радиусы кривизны поверхностей линз определялись по известной формуле:

$$1/f = (n-1)(1/R_1 - 1/R_2) + (n-1)^2 d / (R_1 \times R_2),$$

где f — фокусное расстояние линзы; n — показатель преломления органического стекла; R_1 и R_2 — радиусы кривизны поверхностей (в нашем случае $R_1 = R_2$); d — толщина линзы.

Полученные данные были проверены автоматизированным расчетом. Программа позволяет рассчитывать прохождение пучка (лучевого пакета), состоящего из 400 лучей, равномерно распределенных по входной апертуре оптической системы. Также с ее помощью можно рассчитывать и запоминать координаты луча в любом заданном сечении после его прохождения через оптическую систему и выводить на экран ЭВМ точечную

диаграмму преобразованного пучка в заданной плоскости сечения и строить диаграмму распределения энергии по пучку (энергетический профиль). Основные параметры линз приведены в таблице 1.

Однолинзовая лупа для дерматологии (линза №1) имеет увеличение $V = 4\times$, длина оптической системы $L = 3$ мм. Исходя из этих расчетных данных, источник следует устанавливать на расстоянии 61 мм от передней части линзы, а с учетом размера диагностической воронки — на расстоянии 30 мм от отоскопа.

Аналогичным образом были рассчитаны однолинзовые лупы для диагностики в отоскопии (линза №2) и для хирургии (линза №3). При этом расчет показал, что источник следует установить на расстояниях 36 и 48,5 мм для соответствующей линзы, а с учетом размера воронки — на расстояниях 5,0 и 17,5 мм соответственно.

Двухлинзовая лупа для дерматологии (линзы №2 и №3) имеет увеличение $V = 10\times$, длина оптической системы $L = 37$ мм, расстояние между линзами 31,5 мм. Исходя из этих расчетных данных, источник следует установить на расстоянии 35 мм от передней поверхности линзы и 5 мм от отоскопа.

С целью дополнительной проверки правильности расчета оптической системы аналогичным образом были рассчитаны двухлинзовые лупы: линзы №1+№3 и линзы №2+№3. При этом расчет показал, что источник следует установить на расстояниях 39,5 и 45 мм от передней части линзы для соответствующей пары линз.

Для обеспечения функции диагностики устройство проектировалось на основе разработанной и выпускаемой ООО «ЭМЕТ» (г. Томск) полупроводниковой лампы типа ТХС 3,6-0,3. На рис. 1 приведен общий вид отоскопа и используемых полупроводниковых ламп ТХС 3,6-0,3.

Применяемые полупроводниковые лампы имеют определенный разброс в значениях

Таблица 1. Основные параметры линз

Основные параметры	Линза №1 дерматологическая	Линза №2 диагностическая	Линза №3 хирургическая
R_1 , мм	60±0,3	96±0,5	96±0,2
R_2 , мм	-60±0,3	-96±0,5	-96±0,2
Увеличение линзы, V	4	2,5	2,5
Фокусное расстояние f, мм	62,5	100	100
Апертура линзы A, мм	20±0,26	20±0,26	14±0,2
Толщина линзы D, мм	3±0,1	2,5±0,1	2,5±0,1



Рис. 1. а) Общий вид отоскопа; б) полупроводниковые лампы ТХС 3,6-0,3

прямого напряжения на *p-n*-переходах, корреляция которого с другими параметрами приборов отсутствует. Непринятие мер по стабилизации рабочего тока устройства может привести к деградации источников излучения

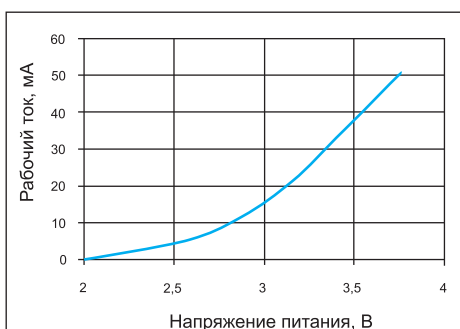


Рис. 2. Усредненная вольт-амперная характеристика используемых светодиодов

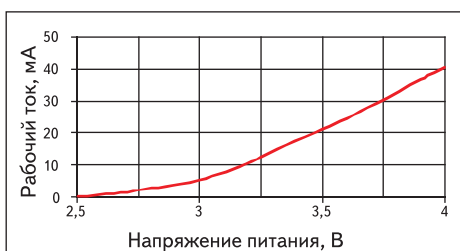


Рис. 3. Усредненная вольт-амперная характеристика полупроводниковых ламп с резистором

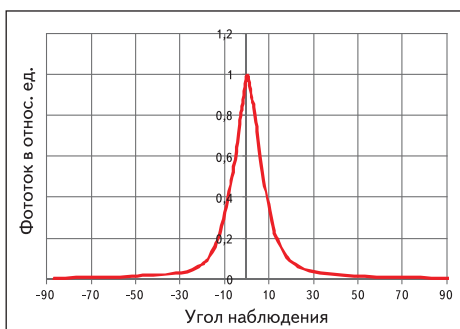


Рис. 4. Индикатриса излучателей белого света (диаметр линзы 5 мм)

Таблица 2. Основные электрооптические характеристики полупроводниковых ламп

Освещенность на расстоянии 250 мм, лк		Напряжение питания, В		Потребляемая мощность, мВт		Световой поток, лм		Среднее время жизни источника света при токе 20 мА, не менее, ч
мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс	
200	340	3,3	3,8	66	76	1,7	2,5	10000
340	500	3,3	3,8	66	76	2,5	3,0	

по освещенности. Вместо стабилизации рабочего тока устройства можно использовать лампы с балластными сопротивлениями. Усредненная вольт-амперная характеристика по результатам исследования 150 источников белого излучения приведена на рис. 2.

На рис. 3 приведена усредненная вольт-амперная характеристика приборов с последовательными резисторами сопротивлением 5 Ом (балластным сопротивлением). В последнем случае видно, что среднее напряжение, которое соответствует номинальному току 20 мА, близко к 3,5 В. Увеличение тока с ростом напряжения почти линейное, критическое значение 40 мА достигается при напряжении питания 4 В. Кривая силы света используемых полупроводниковых ламп показана на рис. 4.

На рис. 5 представлены зависимости осевой освещенности прибора на расстоянии 250 мм и светового потока от прямого рабочего тока. В соответствии с требованиями освещенность источника излучения в устройстве должна быть не менее 250 лк на расстоянии 250 мм при прямом напряжении не более 3,6 В.

Видно, что требуемую освещенность (с учетом 10%-й погрешности измерения и 25% технологического запаса) в устройстве можно обеспечить при рабочих токах не более 25 мА.

Наиболее распространенными источниками напряжения для автономного питания устройств являются импортные элементы питания ВАР CR AA (VARTA, Германия). Напряжение питания одного такого элемента составляет 3,0 В при емкости 0,95 А·ч. Для питания светового модуля типа ТХС 3,6-0,3 потребуются применить в устройстве последовательную цепочку из двух элементов питания с последующим ограничением до требуемого рабочего напряжения источника излучения (3,6 В).

На рис. 6 приведена зависимость среднего времени жизни в зависимости от прямого тока, протекающего через *p-n*-переход твердотельного источника белого света. Из-за отсутствия общепринятых данных по энергии активации нитридов третьей группы (GaInN), материала, из которого изготовлены активные элементы светового модуля, зависимость рассчитывалась по стандартной методике с использованием минимального значения энергии активации, используемой для полупроводниковых изделий из арсенида галлия. Использование этого значения энергии активации дает пессимистический результат (заниженные значения) по показателям надежности.

Основные электрооптические характеристики полупроводниковых ламп, исследованных в нашей работе, отображены в таблице 2.

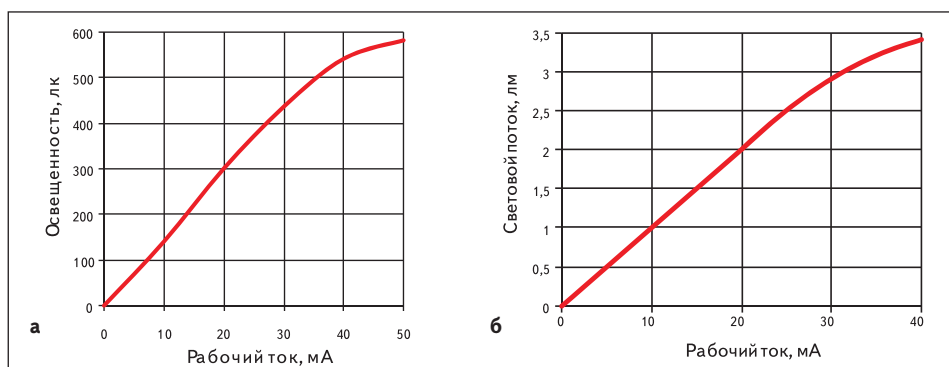


Рис. 5. Зависимость от тока: а) освещенности; б) светового потока

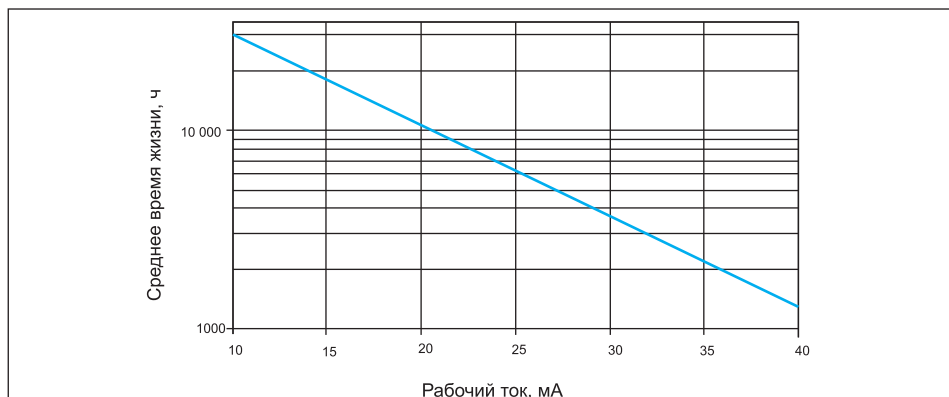


Рис. 6. Зависимость среднего времени работы полупроводниковых ламп белого свечения от рабочего тока

Отоскоп как терапевтический прибор

Прямых противопоказаний к применению цветотерапии не выявлено. Необходимо только учитывать особенности использования цвета для каждого конкретного заболевания. Во всех случаях применения излучения в лечебных и профилактических целях участвуют небольшие уровни мощности. Это обстоятельство с учетом наличия на российском рынке сверхъярких светодиодов и мощных ИК-излучателей позволяет предположить, что они могут быть с успехом использованы в физиотерапевтической практике.

Конструкция терапевтико-диагностического устройства пригодна для создания на его базе светодиодного терапевтического аппарата с насадками для каждого диапазона длин волн. Использование светотерапевтических насадок в значительной степени расширяет функциональные возможности разрабатываемого прибора. Результаты расчета количества светодиодов, имеющих невысокую мощность излучения, и способ их соединения в насадке приведены в таблице 3.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что предлагаемый терапевтический аппарат на светодиодах найдет применение во многих областях лечебной медицины, в том числе при ЛОР-заболеваниях, а светодиодные лампы типа ТХС 3,6-0,3 позволяют существенно увеличить сроки работы и улучшить технические параметры отоскопа.

Т а б л и ц а 3. Результаты расчета количества светодиодов и способ их соединения

Цвет	Длина волны, нм	Количество СД, шт.	Тип соединения	Напряжение питания, В	Прямой ток, мА
ИК-излучение	940	3	последовательно	≤4,5	≤50
ИК-излучение	880	3	последовательно	≤4,5	≤50
Красный	660	4	попарно п/п	≤4,5	≤50
Красно-оранжевый	630	4	попарно п/п	≤4,5	≤50
Оранжевый	610	4	попарно п/п	≤4,5	≤50
Желтый	590	4	попарно п/п	≤4,5	≤50
Желто-зеленый	565	4	попарно п/п	≤4,5	≤50
Зеленый	525	3	параллельно	≤4,0	≤90
Зелено-голубой	505	3	параллельно	≤4,0	≤90
Голубой	468	3	параллельно	≤4,0	≤90
Синий	430	3	параллельно	≤4,0	≤90
Фиолетовый	400	3	параллельно	≤4,0	≤90
Ультрафиолетовый	375	3	параллельно	≤4,0	≤90
Белый	—	3	параллельно	≤4,0	≤90

Примечание: п/п — параллельно-последовательное соединение