

Разработка системы дистанционного управления регулируемого источника излучения

М.Е. Ермаков, А.Д. Тресков, К.Ю. Семенов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, Томск, Россия, пл. Академика Зуева, 1; semenov@iao.ru*

Целью настоящего исследования было реализовать систему, позволяющую управлять параметрами излучения регулируемого полупроводникового источника излучения на основе лазерного диода. Для этого устройство изменяет ток и температуру полупроводникового источника излучения, что приводит к изменению интенсивности и длины волны излучения. Также в устройство был добавлен функционал дистанционного управления параметрами излучения через веб-сервер.

Ключевые слова: смещение длины волны, температурная зависимость, полупроводниковый лазерный диод, полупроводниковый светодиод; wavelength shift, temperature dependence, laser diode, LED.

Введение

Полупроводниковые лазерные диоды широко применяются в телекоммуникационных системах, спектроскопии, биомедицинской визуализации и системах навигации благодаря их компактности, высокой эффективности и возможности управления длиной волны излучения [1, 2]. Одним из ключевых параметров, определяющих стабильность и точность их работы, является длина волны, которая существенно зависит от температуры рабочей области и тока накачки [3].

Температурная зависимость длины волны обусловлена как термическим расширением решетки, так и изменением ширины запрещенной зоны полупроводникового материала, что приводит к сдвигу спектра излучения на величину порядка $0,3 \text{ нм}/^\circ\text{C}$ [4]. Увеличение тока накачки, в свою очередь, влияет на плотность носителей и внутренний нагрев активной области, что также может вызывать изменение длины волны [5]. Понимание этих зависимостей критически важно для разработки систем с узкополосной модуляцией и температурной стабилизацией.

Целью этой работы является разработка системы дистанционного управления для регулируемого полупроводникового источника излучения. Система будет позволять изменять длину волны излучения лазерного диода путем варьирования температуры и величины тока накачки.

Схема экспериментального макета

Экспериментальный макет позволяет производить измерение интенсивности и спектра излучения в зависимости от подаваемого на источник излучения тока и температуры.

Схема экспериментального макета состоит из двух частей: система распределения питания и система управления. Структурная схема системы управления показана на рис. 1.

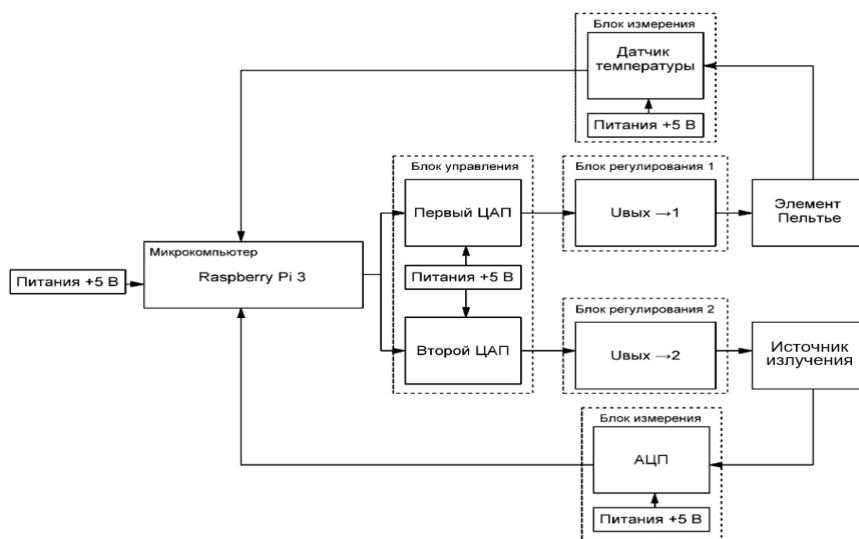


Рис.1. Структурная схема системы управления

Система распределения питания была выполнена на основе линейных стабилизаторов напряжения и тока с точностью поддержания заданного значения $\pm 1\%$.

Алгоритм управления был следующим:

- 1) пользователь задает значение температуры и тока источника излучения на персональном компьютере;
- 2) Raspberry Pi 3 передает данные на ЦАП, управляющий драйвером элемента Пельтье, также данные отправляются на ЦАП, управляющий драйвером источника излучения;
- 3) температура и ток измеряются датчиками и эти значения отправляются на Raspberry Pi 3, где обрабатываются и происходит коррекция работы ЦАП-ов.

На рис. 2 показана схема экспериментального макета.

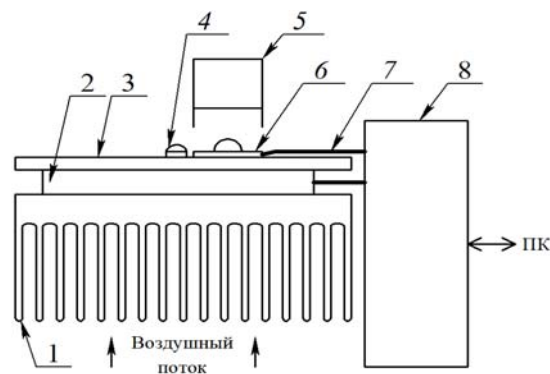


Рис. 2. Схема экспериментального макета: 1 – радиатор; 2 – Элемент Пельтье; 3 – теплораспределительная медная пластина; 4 – датчик температуры; 5 – измерительная аппаратура; 6 – источник излучения; 7 – электрические шины; 8 – система управления на базе Raspberry Pi 3 Model B

Использование элемента Пельтье было обусловлено возможностью как нагревать, так и охлаждать источник излучения путем изменения полярности прикладываемого к элементу напряжения. Элемент Пельтье создает разность температур между своими двумя сторонами, поэтому одна сторона была прикреплена к алюминиевому радиатору с принудительным обдувом. За счет чего температура этой стороны приближалась к комнатной, позволяя значительно охлаждать или нагревать вторую сторону элемента Пельтье, которая была прикреплена к теплораспределительной медной пластине, на которой вплотную к друг другу устанавливались датчик температуры и источник излучения.

Апробация экспериментального макета

Для апробации разработанного макета использовался сверхъяркий светодиод. В табл. 1 представлена зависимость длины волны излучения от тока и температуры светодиода. Данные табл. 1 представлены графически на рис. 3.

Таблица 1

№	Температура, °C							
	20		30		40		50	
	I_{VD}, A	λ, nm	I_{VD}, A	λ, nm	I_{VD}, A	λ, nm	I_{VD}, A	λ, nm
1	0	657,38	0	658,78	0	662,04	0	663,9
2	0,05	658,78	0,05	661,11	0,05	662,51	0,05	664,37
3	0,15	659,24	0,15	661,57	0,15	663,44	0,15	664,84
4	0,25	660,18	0,25	662,04	0,25	663,9	0,25	665,3
5	0,5	661,11	0,5	662,51	0,5	664,84	0,5	665,77
6	0,75	661,57	0,75	663,9	0,75	665,22	0,75	666,7
7	1	662,51	1	664,84	1	665,77	1	668,1
8	1,2	664,84	1,2	666,7	1,2	667,17	1,2	669,5

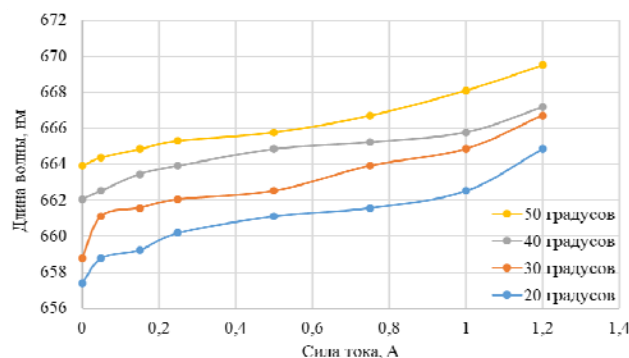


Рис. 3. Зависимость длины волны излучения от тока и температуры

В табл. 2 представлена зависимость интенсивности излучения (в относительных единицах) от тока и температуры светодиода. Данные табл. 2 представлены графически на рис. 4.

Таблица 2

№	Температура, °C							
	20		30		40		50	
	I_{VD}, A	$I_{nt}, o.e.$	I_{VD}, A	$I_{nt}, o.e.$	I_{VD}, A	$I_{nt}, o.e.$	I_{VD}, A	$I_{nt}, o.e.$
1	0	494	0	367	0	311	0	249
2	0,05	2409	0,05	1968	0,05	1206	0,05	898
3	0,15	5065	0,15	4716	0,15	2070	0,15	2028
4	0,25	8147	0,25	6934	0,25	3335	0,25	2586
5	0,5	12028	0,5	9191	0,5	5183	0,5	4303
6	0,75	16206	0,75	13482	0,75	7038	0,75	5354
7	1	16206	1	14689	1	8354	1	6588
8	1,2	16206	1,2	15312	1,2	9324	1,2	7037

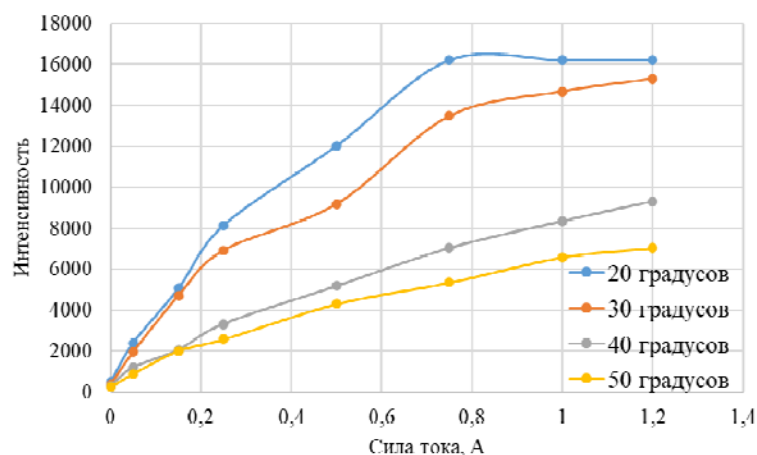


Рис. 4. Зависимость интенсивности излучения (в относительных единицах) от тока и температуры

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1) Увеличение прямого тока приводит к монотонному росту пиковой длины волны излучения светодиода, в среднем разница составляет 8 нм от момента появления свечения до предельно допустимого тока светодиода;

2) С повышением температуры зависимость «длина волны — ток» смещается в длинноволновую область на 1–2 нм на каждые 10 градусов. Это может быть объяснено уменьшением ширины запрещенной зоны полупроводника и снижением энергии фотонов при нагреве;

3) Интенсивность излучения возрастает почти линейно с током до $\approx 0,7–0,8$ А, после чего проявляется насыщение из-за чего дальнейший рост тока дает все меньший прирост излучения. При 20 °C максимальная интенсивность достигла ≈ 16200 о.е., тогда как при 50 °C — только ≈ 7000 о.е., что в 2,3 раза меньше значения при 20 °C.

В дальнейших работах планируется провести апробацию экспериментального макета с полупроводниковым лазерным диодом.

Заключение

В работе приводится описание системы питания и дистанционного управления для регулируемого полупроводникового источника излучения. Система позволяет изменять интенсивность и длину волны излучения путем регулирования температуры и тока полупроводникового источника излучения. Управление производится дистанционно через персональный компьютер.

Созданный экспериментальный макет системы был апробирован на сверхъярком светодиоде, излучающем свет в красном диапазоне спектра. Было показано, что изменение температуры и тока влияет как на длину волны, так и на интенсивность излучения. При одинаковом токе длина волны излучаемого света смещалась в длинноволновую область на 1–2 нм каждые 10 градусов. Аналогичное смещение было получено при изменении тока с максимального до половины от максимального. Также была исследована интенсивность излучения, которая при одинаковом токе понижалась более чем в 2,3 раза при повышении температуры с 20 до 50 °C.

Благодарности. Авторы выражают благодарность коллективу ЛКЭ ИОА СО РАН за помощь в обсуждении результатов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке госбюджета ИОА СО РАН.

Список литературы

1. *Coldren L.A., Corzine S.W., Mashanovitch M.L.* Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits. Wiley, 2012.
2. *Piprek J.* (Ed.). Handbook of Optoelectronic Device Modeling and Simulation. CRC Press, 2017.
3. *Holonyak N., Kish F.A.* Injection Lasers and Their Temperature-Dependent Wavelengths // Journal of Applied Physics. 1990. V. 68, N 6.
4. *Chow W.W., Koch S.W.* Theory of Semiconductor Lasers // Progress in Quantum Electronics. 1993. V 17, N 3.
5. *Agrawal G.P.* Fiber-Optic Communication Systems. Wiley, 2010.

M.E. Yermakov, A.D. Treskov, K.Yu. Semenov. **Adjustable power source remote control system design.**

The aim of this work was to design the system for regulating the output radiation parameters of the adjustable semiconductor laser diode. This happened due to the semiconductor radiation source current and temperature variation. Hence, the radiation intensity and wavelength changed. Additionally, this unit possessed remote control of the parameters via web-server.