



УДК 681.785.5

Д. К. Кострин, А. А. Ухов, В. А. Герасимов, Л. М. Селиванов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Коррекция спектральной характеристики оптического спектрометра при исследовании источников инфракрасного излучения

Рассмотрены факторы, определяющие передаточную характеристику оптического тракта спектрометра. Показана возможность коррекции спектральной характеристики с использованием эталонного источника излучения и разработанного программного обеспечения. Продемонстрировано влияние проведенной коррекции на результаты измерения цветовых параметров светоизлучающих диодов. Выявлен провал спектральной характеристики прибора в инфракрасном диапазоне, предложен способ его устранения.

Оптический спектрометр, светодиод, спектральная характеристика, инфракрасное излучение

Наиболее востребованными приборами для исследования источников оптического излучения являются относительно недорогие портативные компактные спектрометры, построенные с применением фотоприемников с зарядовой связью (ФПЗС) [1]–[4]. Спектральная чувствительность спектрометра в целом представляет собой комбинацию спектральных характеристик отдельных элементов оптической схемы. Прежде чем приступить к анализу источников излучения, следует провести коррекцию спектральной характеристики прибора, т. е. ввести поправочную функцию, учитывающую передаточную функцию прибора.

Спектральная чувствительность прибора определяется: во-первых, передаточной функцией вводного оптического волокна, т. е. зависимостью его коэффициента пропускания от длины волны излучения, во-вторых, характеристикой диспергирующего устройства (дифракционной решетки) и, в-третьих, спектральной чувствительностью ФПЗС.

Излучение поступает в оптический модуль спектрометра по кварцевому оптическому волокну [5]. Такие волокна имеют уровень потерь в сотни–тысячи децибел на километр длины (зависимость уровня оптических потерь ($P_{\text{опт}}$) от длины волны излучения (λ) приведена на рис. 1).

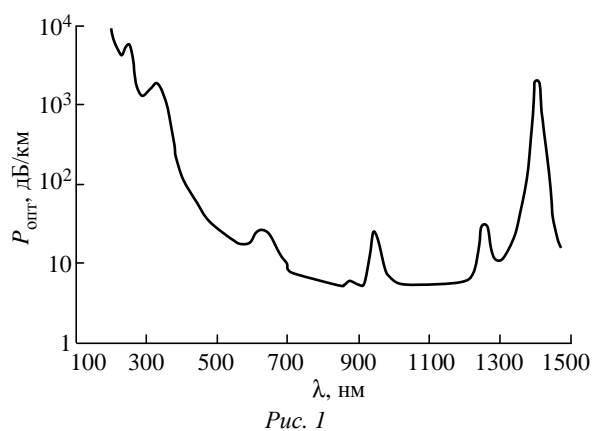


Рис. 1

Учитывая, что длина оптического жгута спектрометра составляет несколько метров, потери в оптоволокне достаточно малы. Однако существует сильная зависимость уровня потерь от длины волны передаваемого излучения.

Вторым важным элементом, оказывающим влияние на передаточную функцию оптического тракта, является дифракционная решетка [6]. Для диспергирующего элемента имеет место зависимость коэффициента передачи излучения не только от длины волны как таковой, но и от того места решетки, на которое падает излучение. Данная зависимость имеет сложный вид и, учитывая, что в приборе используется многосекционная

решетка (т. е. есть сумма зависимостей разных секций), достаточно трудна для учета при расчете спектральной характеристики прибора в целом [4].

Третьим и самым важным элементом оптической схемы является фотоприемник [7], [8]. График относительной спектральной чувствительности ($I_{отн}$) используемого в рассматриваемом спектрометре ФПЗС TCD1304 при комнатной температуре приведен на рис. 2.

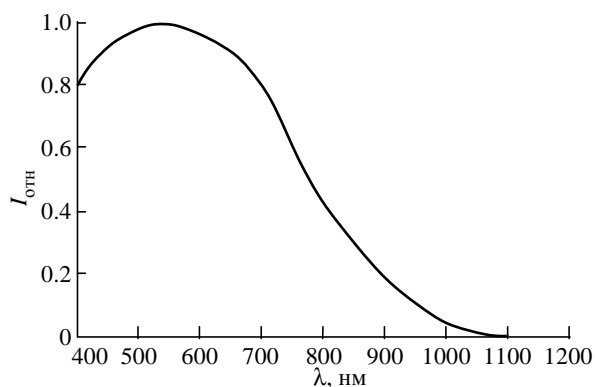


Рис. 2

Данная характеристика не учитывает проведенной модификации ФПЗС [9]. К тому же имеется достаточно сильная зависимость чувствительности ФПЗС от температуры окружающей среды.

Параметр	Белый СИД		Синий СИД	
	до коррекции	после коррекции	до коррекции	после коррекции
Доминирующая длина волны, нм	482.4	487.1	481.6	482.5
Пиковая длина волны, нм	457.8	458.5	478.8	479.2
Цветовая координата x	0.189	0.210	0.104	0.103
Цветовая координата y	0.235	0.290	0.166	0.178

Для того чтобы учесть все описанные факторы, необходимо провести коррекцию спектральной характеристики прибора с помощью программы Aspect [4]. Для ее осуществления необходимо с помощью корректируемого прибора снять спектр эталона A с вычитанием темнового сигнала. В дальнейшем, используя идеальный (спектр в том виде, в каком он должен был бы наблюдаться с помощью спектрометра, если бы у него не было своей нелинейной спектральной зависимости) и реальный спектры, рассчитывают поправочную функцию, на которую автоматически домножаются все получаемые в дальнейшем спектры [3]–[4].

В случае использования спектрометра для качественного анализа линейчатых спектров коррекция спектральной характеристики прибора не является необходимым требованием [10]. Однако при использовании прибора в качестве спектрофотометра коррекция является обязательным

условием для получения правдивых результатов. При проведении колориметрических измерений светоизлучающих диодов (СИД) описанная процедура коррекции также способна повысить достоверность получаемых результатов. На рис. 3 приведены спектры излучения белого СИД (I – интенсивность излучения) без учета (1) и с учетом (2) коррекции, а в таблице представлены результаты цветовых измерений для белого и синего СИД.

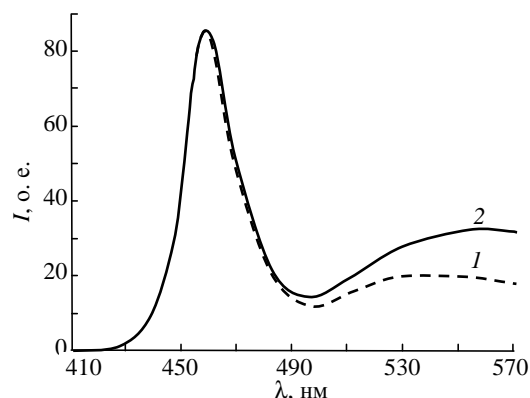


Рис. 3

При исследовании СИД инфракрасного (ИК) диапазона было обнаружено существенное искажение формы сигнала (график 1 на рис. 4), не

позволяющее в полной мере оценивать параметры СИД [4]. Данный эффект проявляется на спектрах всех без исключения светодиодов ИК-диапазона, в частности: L-53SF4C, L-34F3C, АЛ144А, АЛ107Б. Таким образом, требуется реализация ряда мер, направленных на приведение спектра к ожидаемому виду.

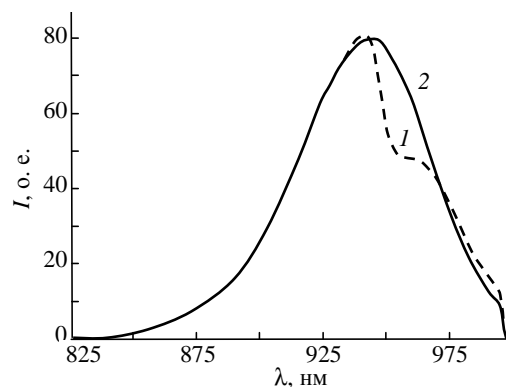


Рис. 4

Использование коррекции спектральной характеристики в данном случае не способно решить описанную проблему вследствие того, что чувствительность ФПЗС в ИК-области спектра крайне мала. Низкое значение соотношения сигнал/шум не позволит провести коррекцию, достаточную для устранения этого эффекта.

Анализ компонентов оптической системы спектрометра показывает, что единственным узлом, который может таким образом исказить сигнал, является ФПЗС. Однако, как и в случае неупомянутого производителем неравномерного блуминга, такой эффект в документации по фотоприемнику не рассматривается [4]. Такой провал спектральной характеристики может быть связан с наличием в структуре ФПЗС тонкой пленки, работающей как интерференционный фильтр в некотором интервале длин волн ИК-диапазона.

Можно попробовать программно устранить данный дефект, рассчитав поправочную функцию с использованием спектра аналогичного СИД, полученного с помощью другого спектрометра (использующего другой тип ФПЗС). Рассчитанная поправочная функция позволяет исправить форму спектра излучения СИД и привести ее к ожидаемому виду (график 2 на рис. 4). Данная функция компенсирует провал спектральной характеристики ФПЗС в диапазоне длин волн 938...968 нм, при этом не оказывая существенного влияния на уровень сигнала в других областях спектра. Таким образом, наличие провала спектральной характеристики спектрометра в ИК-диапазоне длин волн может быть успешно программно устранено с использованием поправочной функции, которая может быть рассчитана с применением спектра СИД, полученного с применением эталонного спектрометра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ухов А. А., Кострин Д. К. Оптимизация системы регистрации многоканального оптического спектрометра // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 4. С. 8–12.
2. Кострин Д. К., Ухов А. А. Аппаратно-программный спектрометрический комплекс для исследования параметров светоизлучающих диодов // Биотехносфера. 2013. № 3. С. 21–25.
3. Кострин Д. К. Разработка и исследование спектрометрического программно-аппаратного комплекса для анализа светоизлучающих диодов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.-Петербург. гос. электротехнический ун-т «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). СПб., 2013.
4. Кострин Д. К. Разработка и исследование спектрометрического программно-аппаратного комплекса для анализа светоизлучающих диодов: дис. ... канд. техн. наук / С.-Петербург. гос. электротехнический ун-т «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). СПб., 2013.
5. Кострин Д. К., Ухов А. А. Влияние изгибов оптоволоконного спектрометра на результаты колориметрических измерений // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 1. С. 9–12.
6. Кострин Д. К., Ухов А. А. Обнаружение и компенсация ложных спектральных линий в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой // Контроль. Диагностика. 2013. № 6. С. 26–28.
7. Кострин Д. К., Ухов А. А. Светосигнальная характеристика ПЗС-фотоприемника в области больших световых потоков // Контроль. Диагностика. 2013. № 5. С. 40–42.
8. Кострин Д. К. Исследование линейности светосигнальной характеристики ПЗС-фотоприемника // Петерб. журн. электроники. 2008. № 2–3. С. 86–91.
9. Кострин Д. К., Ухов А. А. Интерференция в поверхностном слое и метрологические параметры спектрометров с ПЗС-фотоприемниками // Датчики и системы. 2013. № 5. С. 13–15.
10. Кострин Д. К. Исследование возможности экспресс-контроля состава воды оптическим спектрометром при использовании разряда в жидкости // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 7. С. 15–19.

D. K. Kostrin, A. A. Uhov, V. A. Gerasimov, L. M. Selivanov
Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

CORRECTION OF THE SPECTRAL CHARACTERISTIC OF THE OPTICAL SPECTROMETER FOR THE RESEARCH OF INFRARED RADIATION SOURCES

Factors defining the transfer characteristic of an optical path of a spectrometer are considered. Possibility of correction of a spectral characteristic with use of a reference source of radiation and the developed software is shown. Influence of the carried-out correction on results of measurement of color parameters of light-emitting diodes is shown. The gap in a spectral characteristic of the device in the infrared range is revealed, the way of its elimination is offered.

Optical spectrometer, light-emitting diode, spectral characteristic, infrared radiation