

УДК 621.382:681.787

© Е. Е. Майоров, Р. Б. Гулиев, Ю. М. Бородянский,
А. В. Дагаев, И. С. Таюрская, 2025

ВЫБОР ИСТОЧНИКА СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ МИКРОИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ

В работе рассмотрена проблема выбора источника света для микроинтерференционного метода контроля рельефа поверхности. В настоящее время огромное внимание уделяется суперлюминесцентным светодиодам, потому что они являются оптимальными источниками света для низкокогерентной интерферометрии за счет своих технических характеристик. Применение спектрального метода для выявления пиковой длины волны излучения и ширины спектра источника, которая определяет длину когерентности, значимо. Поэтому настоящая работа актуальна и перспективна. В работе поставлена цель и поставлена задача исследования. Приведены функциональные схемы измерительной установки и блока монохроматора. Получены графические зависимости относительной спектральной чувствительности суперлюминесцентных светодиодов на разных гетероструктурах и рассчитаны длины когерентности для каждого источника света.

Ключевые слова: атомно-молекулярная структура, спектральный метод, суперлюминесцентный диод, пиковая длина волны излучения, ширина спектра, длина когерентности источника, призма Аббе, гетероструктуры

EDN: RWRDCL

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество при познании мира опирается на разные подходы для исследования той или иной материи [1]. Познание микромира возможно с помощью такого инструмента, как спектроскопия. Спектральные приборы и системы предназначены для анализа самого излучения, посылаемое материей, которое несет информацию о ее строении [2]. Эти приборы и системы дают возможность изучать параметры излучения, непосредственно испускаемого физическими телами, а также исследовать результат взаимодействия с материей, которое проявляется в поглощении, отражении, рассеянии, пропускании или люминесценции излучения [3]. Итак, данный инструментарий позволяет: разложить излучение в спектр и выделить наиболее важные отдельные спектральные линии; измерить интенсивность выделенного спектра или спектральной линии [4].

Исследуя атомно-молекулярную структуру вещества, можно с уверенностью констатировать тот факт, что при устойчивом состоянии атом имеет определенные значения энергии. При воздействии светового излучения на атом (поглощение кванта света) возникают переходы на более высокие уровни энергии, а при излучении атома — на более низкие [5]. Переходы соответствуют диапазону спектральных линий в спектрах поглощения и излучения атомов и молекул [6]. Спектральная

линия определяет уровень энергии и внутреннее строение атома, интенсивность свидетельствует о прогнозируемых переходах между уровнями. Ширина и контур отдельной линии характеризуют температуру, при которой излучает объект [7]. Во многих научных работах по спектроскопии определено, что интенсивность спектральных линий пропорциональна числу излучающих атомов [8]. А это означает, что по этому параметру можно определить процентное содержание отдельных элементов, входящих в состав исследуемого объекта, используя для сравнения уже известные образцы с содержанием этих элементов.

Инструментарий спектроскопии разнообразен, и принято делить по оптическим характеристикам: рабочему диапазону спектра; дисперсии; диспергирующему элементу (призма, дифракционная решетка, интерферометр); светосиле (малая, средняя, большая); характеру оптики (линзовая, зеркальная); быстродействию [5–8].

В данной работе применен спектрометр для исследования спектра излучения источников света.

В настоящее время огромное внимание уделяется таким источникам излучения, как суперлюминесцентные диоды, потому что они являются оптимальными источниками света для низкокогерентной интерферометрии, рефлектометрии, для различного назначения гироскопов, построенных на квазидномодовых оптических волокнах [9]. Уникальность этих источников света заключается

в том, что они переняли определенные свойства у инжекционных лазеров и у источников белого света, использующихся в различных конструкциях оптико-электронных приборов и комплексов [10]. Многие исследователи отмечают у суперлюминесцентных диодов широкий спектр излучения, высокое оптическое усиление благодаря соединительным группам InP, InAs, InSb, CdS, CdTe, PbSe и GaAs [11]. Суперлюминесцентные светодиоды имеют малую пространственную или временную когерентность, низкие внутренние шумы, широкий спектр излучения, центральную длину волны излучения [12].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При контроле грубых поверхностей (первого, второго класса чистоты поверхности) применяют двухлучевую интерференционную схему, где в качестве источника света используют суперлюминесцентные источники света с разными длинами волн (λ), выходными мощностями ($P_{\text{вых.}}$), длинами когерентности (l_c) и т.д. [11–15]. В научной литературе многими авторами отмечается тот факт, что интерференционная картина видна в двухлучевых интерферометрах только в пределах длины когерентности источника излучения. Очевидно, что при малой l_c максимальное значение выходного оптического сигнала будет определяться точнее, чем при большой l_c , следовательно, регистрация микрорельефа поверхности будет вестись с минимальной погрешностью.

Поэтому интерес представляет исследование спектральных характеристик суперлюминесцентных светодиодов на основе многослойных гетероструктур. Конечно же, существуют и другие проблемы получения суперлюминесцентного излучения, например невозможность усиления в диоде без обратной связи, но данная проблема в работе не рассматривалась.

Выбор источника суперлюминесцентного излучения для низкокогерентной интерферометрии спектральным методом и является целью настоящей работы.

С помощью экспериментальной измерительной установки, работающей в диапазоне длин волн от 375 нм до 1600 нм провести измерения спектров суперлюминесцентных светодиодов на основе многослойных гетероструктур. Провести сравнительный анализ исследуемых образцов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовались суперлюминесцентные светодиоды на основе многослойных гетероструктур.

А именно.

- Суперлюминесцентный светодиод на базе (InGa)N-гетероструктур, мощностью 1 мВт и сроком эксплуатации до 1000 ч.

- Суперлюминесцентный светодиод на базе двухсторонних гетероструктур с отдельным ограничением фотонного поля и носителей заряда (InGa)As, мощностью 25 мВт и временем работы 9000 ч.

- Суперлюминесцентный светодиод на базе InGaAsP/InP двойной гетероструктуры с отдельным ограничением с широким профилем, обладающий высокой оптической мощностью 40 мВт и временем работы 9000 ч.

- А также источник на основе гетероструктур AlGaInAs/InP с напряженно-компенсационными квантовыми ямами, оптической мощностью 6.5 мВт и сроком эксплуатации до 10 000 ч.

Все испытываемые образцы были предоставлены одной из российских компаний-производителей источников светового излучения. Производитель нуждался в независимом контроле спектральных параметров данных образцов. Важность использования данных источников излучения в оптическом приборостроении неопределима. Данные источники излучения применяются в оптико-электронном оборудовании различного назначения, а также в лазерных комплексах. В научно-технической литературе отмечается их широкое использование в оптоэлектронных датчиках, в различных подцветках панелей приборов, современных

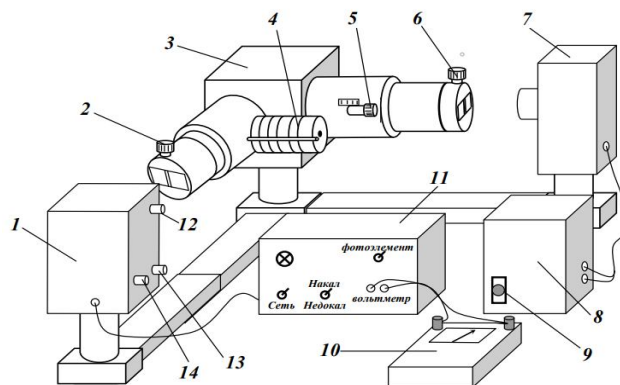


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной измерительной установки.

1 — фотоприемное устройство, 2 — регулятор выходной щели, 3 — монохроматор, 4 — барабан, 5 — регулировка фокусировки, 6 — регулятор входной щели, 7 — источник излучения, 8 — пусковой блок, 9 — кнопка включения, 10 — измерительный прибор, 11 — блок питания, 12 — регулировка диафрагмы, 13 — установка нуля темнового тока, 14 — переключатель чувствительности измерительной системы

ВЫБОР ИСТОЧНИКА СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

автоматизированных оптических приборах геометрической оптики, а также для изменения лазерного режима в интерференционных системах.

В рамках настоящей работы были исследованы оптические характеристики источников. Для исследований использовалась установка, функциональная схема которой представлена на рис. 1.

Установка для измерения спектров излучения состоит из монохроматора, фотоприемной системы, измеряемых источников света и пускового блока.

Фотоприемная система состоит из линейки фотодиодов, блока питания с подключенным цифровым вольтметром. Регистрация интенсивности излучения в относительных единицах осуществляется по шкале цифрового вольтметра. Установка имеет аналогово-цифровой преобразователь, и через универсальный вход данные поступают на персональный компьютер, где обрабатываются и представляются в графическом виде. В установке использовалась модифицированная призма с рабочим диапазоном спектра 375–1600 нм.

На рис. 2 показана оптическая схема призмы: входная щель 1, входной коллиматор 2, поворотная призма 3, выходной коллиматор 4, выходная щель 5. В установке щели могут изменять геометрическое положение (0, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°). Фокусное расстояние объективов составляет 420 мм. Призма Аббе приводилась в движение барабаном.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проведения эксперимента суперлюминесцентные светодиоды включались в специально разработанную плату, которая размещалась в измерительной установке. На рис. 3, 4 получены спектры суперлюминесцентных светодиодов.

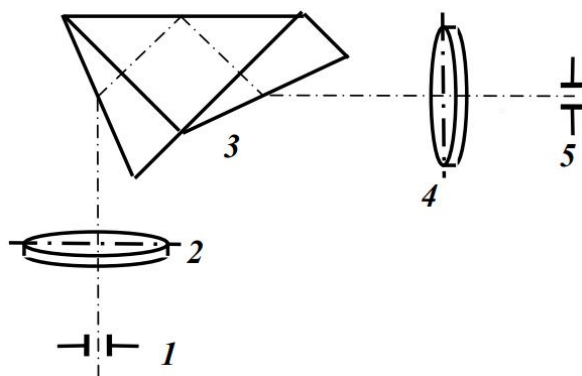


Рис. 2. Блок монохроматора.

1 — входная щель; 2, 4 — объективы; 3 — поворотная призма Аббе; 5 — выходная щель

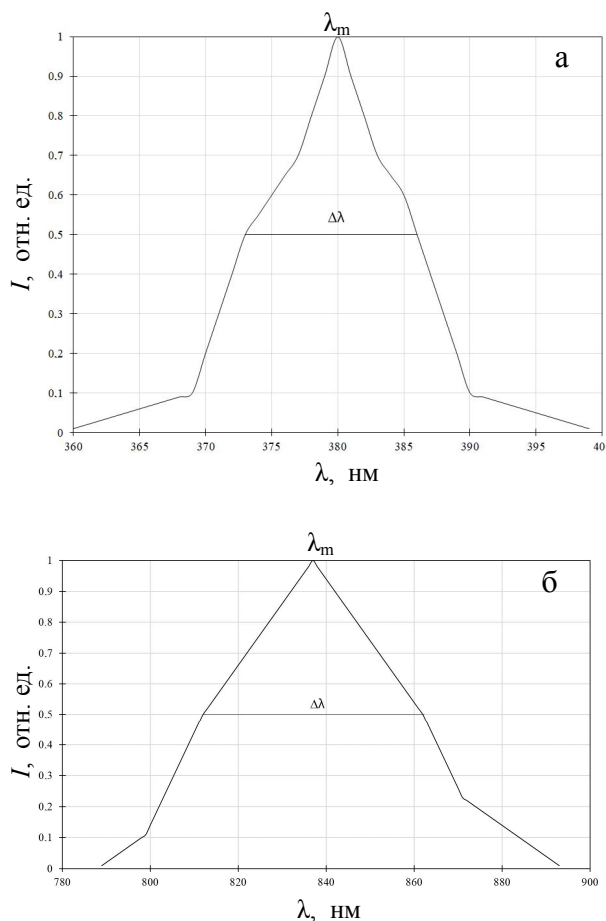


Рис. 3. Относительная спектральная чувствительность суперлюминесцентных светодиодов на разных гетероструктурах.

а — (InGa)N; б — (InGa)As

Представленные образцы имели похожую конструкцию и составы гетероструктур, но отличались активным слоем, толщина которого была у всех одинакова и равнялась 12 нм.

Спектральные кривые образцов отличались по ширине, но имели схожую колоколообразную форму. Конечно же, разный химический состав активного слоя при его постоянной толщине дает возможность выявлять пиковую длину волны излучения λ_m и определять ширину спектра $\Delta\lambda$ излучения. В работе по формуле $l_c = \lambda_m^2 / \Delta\lambda$ рассчитаны значения когерентности l_c для каждого источника излучения. В таблицу сведены основные спектральные параметры излучения суперлюминесцентных светодиодов.

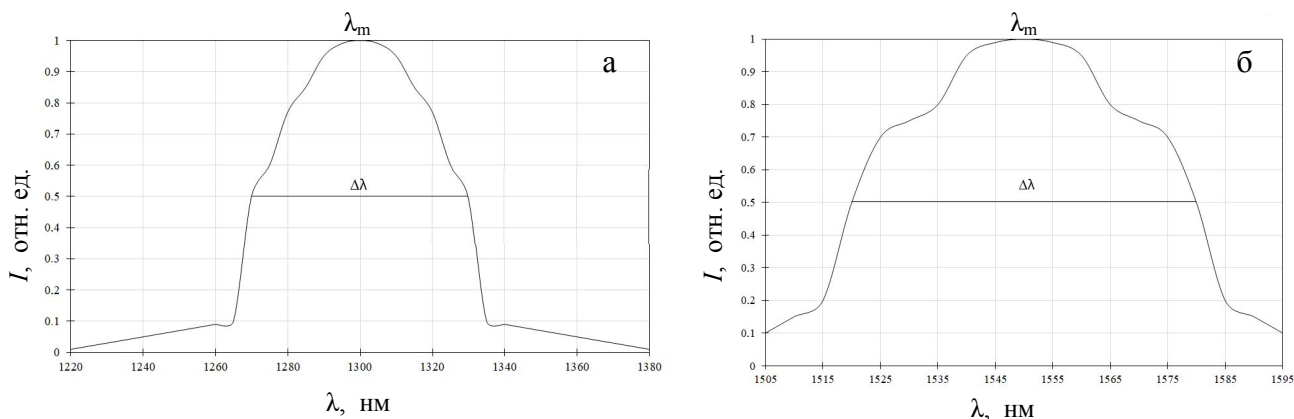


Рис. 4. Относительная спектральная чувствительность суперлюминесцентных светодиодов на разных гетероструктурах.
а — InGaAsP/InP; б — AlGaInAs/InP

Табл. Спектральные параметры источников излучения с различными составами активного слоя толщиной 12 нм

Состав активного слоя	λ_m , нм	$\Delta\lambda$, (нм)	l_c , (мкм)
(InGa)N	380	14	10
(InGa)As	837	50	14
InGaAsP	1300	70	24
AlGaInAs	1550	60	40

В практическом применении у источников суперлюминесцентного излучения $P_{\text{вых}}$ является важным параметром особенно тогда, когда речь идет о томографических измерениях. В нашем же случае $P_{\text{вых}}$ не имеет никакого значения, потому что для при исследовании поверхности сложной формы интерференционным методом ключевую роль играет l_c .

Анализируя представленную таблицу можно с уверенностью сказать, что для интерференционного метода контроля микрорельефа поверхности в качестве источника излучения оптимально подходит суперлюминесцентный диод со следующими спектральными характеристиками: $\lambda_m = 380$ нм, $\Delta\lambda = 14$ нм, $l_c = 10$ мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксперимента исследованы источники суперлюминесцентного излучения на основе многослойных гетероструктур с разными выход-

ными мощностями и сроком службы. Получены экспериментальным путем пиковая длина волны, ширина спектра излучения и рассчитанные по ним длины когерентности источников излучения. При сравнении спектральных параметров выбран источник света, который улучшит технические характеристики интерференционных систем, работающих в низкокогерентном свете. Образец на базе (InGa)N-многослойных гетероструктур с $\lambda_m = 380$ нм, $\Delta\lambda = 14$ нм, $l_c = 10$ мкм является оптимальным источником излучения для двухлучевого интерферометра контроля негладких поверхностей. Данные результаты работы могут представлять интерес для разработчиков интерференционных приборов и систем, работающих в низкокогерентном свете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 855 с.

ВЫБОР ИСТОЧНИКА СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 264 с.
3. Тарасов К.И. Спектральные приборы. М.: Машиностроение, 1968. 389 с.
4. Майоров Е.Е., Курлов В.В., Бородянский Ю.М., Дагаев А.В., Таюрская И.С. Исследование голографических материалов методом спектрального анализа // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 6. С. 519–524. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-6-519-524
5. Майоров Е.Е., Костин Г.А., Черняк Т.А. Исследование оптических клиньев для оптических и оптико-электронных приборов и комплексов спектральным методом // Приборы. 2023. № 4 (274). С. 41–44. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53855191>
6. Малакара Д. Оптический производственный контроль / Пер. с англ. под ред. А.Н. Соснова. М.: Машиностроение, 1985. 340 с.
7. Афанасьев В.А. Оптические измерения. М.: Недра, 1968. 263 с.
8. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М., 1981. 640 с.
9. Андреева Е.В., Ильченко С.Н., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Панкратов К.М., Шидловский В.Р., Якубович С.Д. Суперлюминесцентные диоды на основе двухслойных асимметричных наногетероструктур // Квантовая электроника. 2019. Т. 49, № 10. С. 931–935. URL: <https://quantum-electronics.ru/wp-content/uploads/2019/10i/0931.pdf>
10. Andreeva E.V., Chatorovsky A.Yu., Ilchenko S.N., Kostin Yu.O., Lapin P.I., Yakubovich S.D. SLD-based broadband light sources with bell-shaped spectra in the range of 800–900 nm // 1st Symp. on OCT for Non-Destruct. Testing, Linz, Austria, 2013. P. 93–95. URL: https://www.researchgate.net/publication/301889462_SLD-based_broad-band_light_sources_with_bell-shaped_spectra_in_the_range_of_800-900_nm
11. Андреева Е.В., Ильченко С.Н., Костин Ю.О., Якубович С.Д. Поперечно-одномодовые суперлюминесцентные диоды ближнего ИК диапазона спектра с непрерывной выходной мощностью до 100 мВт // Квантовая электроника. 2014. Т. 44, № 10. С. 903–906. URL: <https://quantum-electronics.ru/wp-content/uploads/2014/10i/15568.pdf>
12. Майоров Е.Е., Костин Г.А., Черняк Т.А., Баранов Н.Е. Использование излучения с малой временной когерентностью для исследования поверхности щелевых закрылок на крыле самолета // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 7. С. 577–581. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54489663>
13. Майоров Е.Е., Арефьев А.В., Курлов В.В., Пушкина В.П., Бородянский Ю.М., Таюрская И.С. Экспериментальное исследование косметических масел низ-кокогерентным интерференционным радаром // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 7. С. 585–590. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54489665>
14. Майоров Е.Е., Арефьев А.В., Гулиев Р.Б., Пушкина В.П., Дагаев А.В. Интерференционный метод в исследовании поверхности микроканалов полимерных и кварцевых микрофлюидных чипов // Приборы. 2024. № 2. С. 28–32. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=63878360>
15. Майоров Е.Е., Костин Г.А., Курлов В.В., Баранов Н.Е. Исследование динамической поверхности летательного аппарата интерференционным методом // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 8. С. 722–726. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-8-722-726

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург (Майоров Е.Е., Гулиев Р.Б.)

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург (Бородянский Ю.М.)

Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал ГУАП), г. Ивангород (Дагаев А.В.)

Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, Санкт-Петербург (Таюрская И.С.)

Контакты: Майоров Евгений Евгеньевич, majorov_ee@mail.ru

Материал поступил в редакцию 08.10.2024

SELECTION OF A SUPERLUMINESCENT RADIATION SOURCE FOR THE MICROINTERFERENCE METHOD OF SURFACE RELIEF CONTROL

E. E. Maiorov¹, R. B. Guliyev¹, Y. M. Borodyansky², A.V. Dagaev³, I. S. Tayurskaya⁴

¹St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (GUAP), Saint Petersburg, Russia

²St. Petersburg State University of Telecommunications named after Prof. M.A. Bonch-Bruевич, Saint Petersburg, Russia

³Ivangorod Humanitarian and Technical Institute (branch of GUAP), Ivangorod, Russia

⁴St. Petersburg University of Management Technologies and Economics, Saint Petersburg, Russia

The paper considers the problem of choosing a light source for the microinterference method of surface relief control. Currently, great attention is being paid to superluminescent LEDs, because they are the optimal light sources for low-coherence interferometry due to their technical characteristics. The use of the spectral method to identify the peak wavelength of radiation, the width of the source spectrum, which determines the coherence length, is significant, therefore this work is relevant and promising. The purpose and task of the study are set. The functional diagram of the measuring unit and the monochromator unit are given. Graphical dependences of the relative spectral sensitivities of superluminescent LEDs on different heterostructures are obtained and the coherence lengths for each light source are calculated.

Keywords: atomic and molecular structure, spectral method, superluminescent diode, peak wavelength of radiation, spectrum width, coherence length of the source, Abbe prism, heterostructures

REFERENCES

1. Born M., Wolf E. *Principles of optics*. 4th edit. Oxford, London, Edinburgh, New York, Paris, Frankfurt, Pergamon Press, 1968. (Russ. ed.: Born M., Vol'f E. *Osnovy optiki*. Moscow, Nauka Publ., 1970. 855 p.).
2. Kreopalova G.V., Lazareva N.L., Puryaev D.T. *Opticheskie izmereniya* [Optical measurements]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987. 264 p. (In Russ.).
3. Tarasov K.I. *Spektral'nye pribory* [Spectral instruments]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968. 389 p. (In Russ.).
4. Maiorov E.E., Kurllov V.V., Borodiansky Yu.M., Dagaev A.V., Tayurskaya I.S. [Studying holographic materials by spectral analysis method]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie* [News of universities. Instrument making], 2024, vol. 67, no. 6, pp. 519–524. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-6-519-524 (In Russ.).
5. Maiorov E.E., Kostin G.A., Chernyak T.A. [Investigation of optical wedges for optical and optoelectronic devices and complexes by spectral method]. *Pribory* [Instruments], 2023, no. 4 (274), pp. 41–44. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53855191> (In Russ.).
6. Malacara D. *Optical shop testing*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, John Wiley and sons. (Russ. ed.: Malakara D. *Opticheskii proizvodstvennyi kontrol'*. Translate A.N. Sosnov. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 340 p.).
7. Afanas'ev V.A. *Opticheskie izmereniya* [Optical measurements]. Moscow, Nedra Publ., 1968. 263 p. (In Russ.).
8. Akhmanov S.A., D'yakov Yu.E., Chirkin A.S. *Vvedenie v statisticheskuyu radiofiziku i optiku* [Introduction to statistical radiophysics and optics]. Moscow, 1981. 640 p. (In Russ.).
9. Andreeva E.V., Il'chenko S.N., Pankratov K.M., Shidlovskii V.R., Ladugin M.A., Marmalyuk A.A., Yakubovich S.D. [Superluminescent diodes based on asymmetric double-quantum-well heterostructures]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum electronics], 2019, vol. 49, no. 10, pp. 931–935. URL: <https://quantum-electronics.ru/wp-content/uploads/2019/10i/0931.pdf> (In Russ.).
10. Andreeva E.V., Chamorovsky A.Yu., Ilchenko S.N., Kostin Yu.O., Lapin P.I., Yakubovich S.D. SLD-based broadband light sources with bell-shaped spectra in the range of 800–900 nm. *1st Symp. on OCT for Non-Destruct. Testing*, Linz, Austria, 2013, pp. 93–95. URL: https://www.researchgate.net/publication/301889462_SLD-based_broad-band_light_sources_with_bell-shaped_spectra_in_the_range_of_800-900_nm
11. Andreeva E.V., Il'chenko S.N., Kostin Yu.O., Yakubovich S.D. [Single-transverse-mode near-ir superluminescent diodes with CW output power up to 100 mw]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum electronics], 2014, vol. 44, no. 10, pp. 903–906. URL: <https://quantum-electronics.ru/wp-content/uploads/2014/10i/15568.pdf> (In Russ.).
12. Maiorov E.E., Kostin G.A., Chernyak T.A., Baranov N.E. [The use of radiation with low temporal coherence to study the surface of slit flaps on the wing of an aircraft]. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical sciences.], 2023, no. 7, pp. 577–581. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54489663> (In Russ.).

ВЫБОР ИСТОЧНИКА СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

13. Maiorov E.E., Arefiev A.V., Kurlov V.V., Pushkina V.P., Borodyansky Yu.M., Tayurskaya I.S. [Experimental study of cosmetic oils by low-coherence interference radar]. *Izvestiya tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of Tula State University. Technical sciences.], 2023, no. 7, pp. 585–590.
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54489665> (In Russ.).
14. Maiorov E.E., Arefiev A.V., Guliev R.B., Pushkina V.P., Dagaev A.V. [Interference method in the study of the surface of microchannels of polymer and quartz microfluidic chips]. *Pribory* [Instruments], 2024, no. 2, pp. 28–32.
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=63878360> (In Russ.).
15. Maiorov E.E., Kostin G.A., Kurlov V.V., Baranov N.E. [Study of the dynamic surface of an aircraft by the interference method]. *Izvestiya vuzov. Priborostroenie* [News of universities. Instrument making], 2024, vol. 67, no. 8, pp. 722–726. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-8-722-726 (In Russ.).

Contacts: *Maiorov Evgeniy Evgen'evich*,
majorov_ee@mail.ru

Article received by the editorial office on 08.10.2024

INTRODUCTION

Modern society, when learning about the world, relies on different approaches to studying this or that matter [1]. Learning about the microworld is possible with the help of such a tool as spectroscopy. Spectral devices and systems are designed to analyze the radiation itself, sent by matter and carrying information about its structure [2]. These devices and systems make it possible to study the parameters of radiation directly emitted by physical bodies, as well as to study the result of interaction with matter, which manifests itself in the absorption, reflection, scattering, transmission, or luminescence of radiation [3]. Thus, this toolkit allows one to decompose radiation into a spectrum and to isolate the most important individual spectral lines and to measure the intensity of the isolated spectrum or spectral line [4].

By studying the atomic-molecular structure of matter, one can confidently state the fact that in a stable state, an atom has certain energy values. When an atom is exposed to light radiation (absorption of a quantum of light), transitions to higher energy levels occur, and when an atom emits light, transitions to lower ones occur [5]. The transitions correspond to the range of spectral lines in the absorption and emission spectra of atoms and molecules [6]. A spectral line determines the energy level and internal structure of an atom, while the intensity indicates the predicted transitions between levels. The width and contour of an individual line characterize the temperature at which the object emits [7].

Many scientific papers on spectroscopy have determined that the intensity of spectral lines is proportional to the number of emitting atoms [8]. This means that this parameter can be used to determine the percentage content of individual elements included in the object under study, using already known samples with the content of these elements for comparison.

The range of spectroscopy tools is diverse and is usually divided by optical characteristics: the working range of the spectrum, dispersion, dispersing element (prism, diffraction grating, interferometer), aperture ratio (small, medium, large), nature of optics (lens, mirror), response time [5–8].

In this work, a spectrometer is used to study the emission spectrum of light sources.

Currently, great attention is paid to such radiation sources as superluminescent diodes, because they are optimal light sources for low-coherence interferometry, reflectometry, and for various purposes of gyroscopes built on quasi-single-mode optical fibers [9]. The uniqueness of these light sources lies in the fact that they have adopted certain properties from injection lasers and white light sources used in various designs of optical-electronic devices and complexes [10]. Many researchers note that superluminescent

diodes have a wide emission spectrum and high optical gain due to the connecting groups of InP, InAs, InSb, CdS, CdTe, PbSe, and GaAs [11]. Superluminescent LEDs have low spatial or temporal coherence, low internal noise, a wide emission spectrum, and a central emission wavelength [12].

PROBLEM STATEMENT

When testing rough surfaces (first and second class of surface purity), a two-beam interference scheme is used, where superluminescent light sources with different wavelengths (λ), output powers ($P_{\text{вых.}}$), coherence lengths (l_c), etc., are used as a light source [11–15]. In the scientific literature, many authors note the fact that the interference pattern is visible in two-beam interferometers only within the coherence length of the radiation source. Obviously, the maximum value of the output optical signal is determined more accurately when l_c is small rather than large; therefore, the record of the surface microrelief will be carried out with a minimum error. Hence, it is of interest to study the spectral characteristics of superluminescent LEDs based on multilayer heterostructures. Of course, there are other problems in obtaining superluminescent radiation, such as the impossibility of amplification in a diode without feedback, but this problem was not considered in the work.

The choice of a source of superluminescent radiation for low-heterogeneity interferometry using the spectral method is the goal of this work.

Using an experimental measuring setup operating in the wavelength range from 375 nm to 1600 nm, we measured the spectra of superluminescent LEDs based on multilayer heterostructures and conducted a comparative analysis of the samples under study.

MATERIALS AND RESEARCH METHOD

Superluminescent LEDs based on multilayer heterostructures were studied.

Namely,

- Superluminescent LED based on (InGa)N heterostructures, with a power of 1 mW and a service life of up to 1000 h.

- Superluminescent LED based on double-sided heterostructures with separate limitation of the photon field and charge carriers (InGa)As, with a power of 25 mW and a service life of 9000 h.

- Superluminescent LED based on InGaAsP/InP double heterostructure of separate limitation with a wide profile, with high optical power of 40 mW, and a service life of 9000 h.

- And also source based on AlGaInAs/InP heterostructures with strain-balanced quantum wells, optical power of 6.5 mW, and a service life of up to 10 000 h.

All tested samples were provided by one of the Russian companies-manufacturers of light sources. The manufacturer needed independent control of spectral parameters of these samples.

The importance of using these radiation sources in optical instrumentation is inestimable. These radiation sources are used in optoelectronic equipment for various purposes, as well as in laser complexes. In scientific and technical literature, their wide use in opto-technical sensors is noted, in various instrument panel colorings, modern automated optical devices of geometric optics, and also for changing the laser mode in interference systems.

In the framework of the present work, the optical characteristics of the sources were investigated. For the studies, the setup was used, the functional diagram of which is shown in Fig. 1.

Fig. 1. Functional diagram of the experimental measuring setup.

1 — photodetector, 2 — exit slit regulator, 3 — monochromator, 4 — cylinder, 5 — focus adjustment, 6 — entrance slit regulator, 7 — radiation source, 8 — trigger unit, 9 — power button, 10 — measuring device, 11 — power supply, 12 — aperture adjustment, 13 — dark current zero setting, 14 — measuring system sensitivity switch

The setup for measuring the radiation spectra consists of a monochromator, a photodetector system, measurable light sources, and a starting unit.

The photodetector system consists of a line of photodiodes and a power supply with a connected digital voltmeter. The digital voltmeter scale is used to record the radiation intensity in relative units. The setup has an analog-to-digital converter, and the data is fed to a personal computer through a universal input for processing and presenting in graphic form. A modified prism with an operating spectral range of 375–1600 nm was used in the setup.

Fig. 2 shows the optical diagram of the prism: entrance slit 1, entrance collimator 2, rotary prism 3, exit collimator 4, exit slit 5. In the setup, the slits can change their geometric position (0, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°). The focal length of the lenses is 420 mm. The Abbe prism was driven by a drum.

Fig. 2. Monochromator block.

1 — entrance slit; 2, 4 — objectives; 3 — rotating Abbe prism; 5 — exit slit

EXPERIMENTAL RESULTS

To conduct the experiment, superluminescent LEDs were included in a specially designed board,

which was placed in the measuring setup. Figs. 3, 4, present the spectra of superluminescent LEDs obtained. The presented samples had a similar design and composition of heterostructures, but differed in the active layer, the thickness of which was the same for all and equal to 12 nm.

Fig. 3. Relative spectral sensitivity of superluminescent LEDs based on different heterostructures. a — (InGa)N; б — (InGa)As

Fig. 4. Relative spectral sensitivity of superluminescent LEDs based on different heterostructures. a — InGaAsP/InP; б — AlGaInAs/InP

Spectral curves of the samples differed in width but had a similar bell-shaped form. Of course, the different chemical composition of the active layer with its constant thickness makes it possible to identify the peak wavelength of radiation λ_m and determine the width of the spectrum $\Delta\lambda$ of radiation. In the work, the formula $l_c = \lambda_m^2 / \Delta\lambda$ was used to calculate the coherence values l_c for each radiation source. The table summarizes the main spectral parameters of the radiation of superluminescent LEDs.

Tab. Spectral parameters of radiation sources with different compositions of the 12 nm-thick active layers

In practical applications, P_{BIX} is an important parameter for superluminescent radiation sources, especially when it comes to tomographic measurements. In our case, P_{BIX} is of no importance, because l_c plays a key role for studying a complex-shaped surface using the interference method. Analyzing the presented table, we can say with confidence that a superluminescent diode with the following spectral characteristics is optimally suited as a radiation source for the interference method of monitoring the surface micro-relief: $\lambda_m = 380$ nm, $\Delta\lambda = 14$ nm, $l_c = 10$ μm .

CONCLUSION

During the experiment, superluminescent radiation sources based on multilayer heterostructures with various output powers and service lives were investigated. The peak wavelength, the width of the radiation spectrum, and the coherence lengths of the radiation sources calculated from them were obtained experimentally. Comparing the spectral parameters allowed for the selection of a light source that improves the

technical characteristics of interference systems operating in low-coherence light. The sample based on (InGa)N-multilayer heterostructures with $\lambda_m = 380$ nm, $\Delta\lambda = 14$ nm, $l_c = 10$ μ m is an optimal radia-

tion source for a two-beam interferometer for monitoring rough surfaces. These results of the work may be of interest to developers of interference devices and systems operating in low-coherence light.