

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
«Биология, химия». Том 1 (67). 2015. № 4. С. 109–118.

УДК 621.375.8

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЯХ

Деулин Б. И.

*БОУ ОО СПО «Орловский технологический техникум», Орел, Россия
E-mail: boris1967or@qip.ru*

Твердотельные лазеры на красителях нашли самое широкое распространение в различных методах спектрального анализа. Проблеме улучшения их характеристик посвящено множество работ. В данной статье рассматривается вопрос автоматизации твердотельного лазера на органических красителях ЛКИ-301. Это осуществляется за счет использования активных лазерных элементов на эпоксиполимерах или пористых стеклах, активированных красителями, которые позволяют производить накачку «в одну точку», стойки-радиатора с автоматизированным приводом от шагового двигателя, перестраиваемого интерферометра с пьезоэлементом, управляемых от компьютера.

Ключевые слова: лазер, краситель, автоматизация, шаговый двигатель.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время загрязнение окружающей среды приняло глобальный характер. Одним из загрязнителей почв и водоемов являются тяжелые металлы, которые накапливаются в организме и могут явиться причиной онкологических заболеваний. Поэтому необходим анализ почв сельскохозяйственного назначения, а также водоемов на предмет их загрязнения тяжелыми металлами. Данный вопрос можно решить применением лазерного атомно-абсорбционного анализа. Одним из недостатков этого метода является разброс полос поглощения исследуемых элементов по спектру. Этот недостаток устраняется путем применения широкополосных лазеров на органических красителях.

Перестраиваемые широкополосные лазеры в спектроскопии получили широкое распространение, так как расширяют возможности различных методов контроля веществ и материалов. Особое значение занимают лазеры на органических красителях. Широкий набор красителей, выпускаемых промышленностью, позволяет охватить всю видимую область длин волн от ближней инфракрасной до ближнего ультрафиолета.

Первоначально использовались лазеры на жидких растворах органических красителей. В качестве растворителя в них использовался этиловый спирт. Однако лазерам на жидких растворах органических красителей присущи некоторые эксплуатационные недостатки, связанные с необходимостью прокачки красителя и

возможностью испарения растворителя. Испарение растворителя может привести к взрыву, что особенно опасно в закрытых помещениях. Поэтому был проведен ряд исследований по внедрению органических красителей в твердотельные матрицы. Красители внедрялись в различные среды: в полиметилметакрилат, эпоксиполимеры, пористые стекла и так далее.

В 80-х годах XX века отечественная промышленность освоила выпуск твердотельного лазера на красителях ЛКИ-301 с матрицей из полиметилметакрилата в виде диска, оптическая схема которого приведена на рис. 1 [1]. Матрицы из полиметилметакрилата обладают рядом недостатков: у них низкая теплопроводность, недостаточно высокое значение твердости, что затрудняет механическую обработку, они сильно поглощают излучение в ближней УФ – области, что вызывает определенные трудности при накачке от азотного лазера и ксеноновых ламп, у них низкая фотостойкость и ресурс и невысокая теплостойкость, что вызывает необходимость сканирования при накачке пучком света по поверхности лазерного элемента [2, 3]. Такой способ накачки из-за возможности неравномерного распределения красителя в матрице и ее неравномерного нагрева приводит к нестабильности излучения лазера. Для обеспечения большей стабильности излучения лазера, накачка должна производиться «в одну точку».

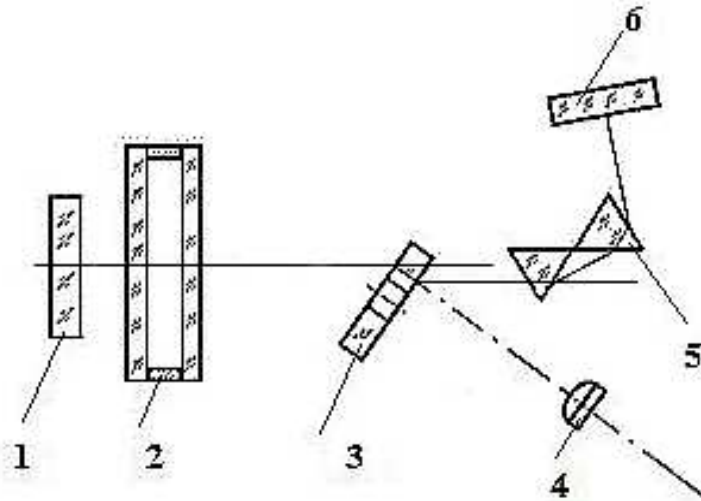


Рис. 1. Оптическая схема твердотельного лазера на красителях ЛКИ-301: 1 – зеркало оптического резонатора; 2 – интерферометр; 3 – активный лазерный элемент; 4 – линза; 5 – призма; 6 – выходное зеркало оптического резонатора.

Эпоксиполимеры относятся к реактопластам, поэтому матрицы на их основе обладают лучшей теплостойкостью по сравнению с полиметилметакрилатом, что расширяет интервал рабочих температур, большей теплопроводностью, большей твердостью. Эти свойства эпоксиполимеров позволили отказаться от сканирования лазерного элемента и проводить накачку «в одну точку» [2, 3]. Для увеличения

теплопроводности и твердости матриц органические красители внедрялись в пористые стекла [4].

В работах [1, 2, 4] было показано, что интенсивность люминесценции красителей зависит от температуры. С ростом температуры она уменьшается (рис. 2). Поэтому для увеличения КПД лазера и увеличения ресурса активного лазерного элемента целесообразно применять меры по его охлаждению.

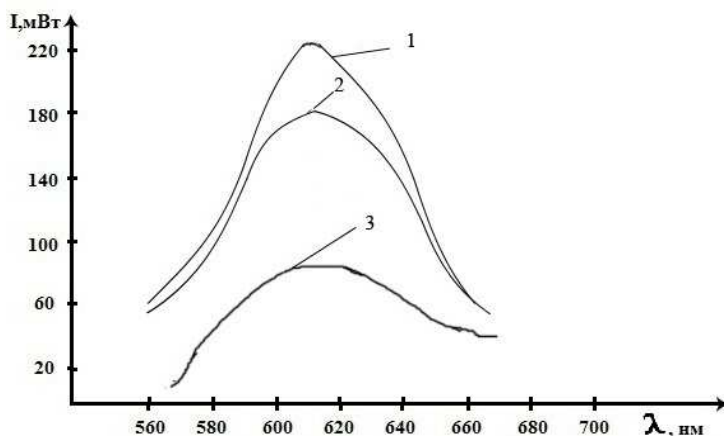


Рис. 2. Спектры люминесценции красителя родамина С в эпоксиолигомере ЭД-24 при разных температурах: 1 – при 39 °С; 2 – при 57 °С; 3 – при 115 °С.

В работах [1, 5] были представлены различные конструкции радиаторов для твердотельных лазерных элементов, выполненных в виде дисков. Общим недостатком этих конструкций является то, что они предназначены только для одного лазерного элемента. Поэтому при смене диапазона работы лазера необходимо менять активный элемент, на что требуются определенные временные затраты. В работах [6, 7] были представлены стойки-радиаторы для твердотельных лазерных элементов, выполненных в виде дисков с ручным и автоматическим управлением. Данные стойки, помимо охлаждения, позволяют более оперативно менять лазерные элементы, а, следовательно, изменять диапазон излучения лазера. Данные стойки могут использоваться и для автоматизации лазера.

Изменение длины волны генерации лазера ЛКИ-301 в пределах диапазона осуществляется вручную с помощью интерферометра 2 (рис. 1), путем изменения расстояния между его торцевыми пластинами. Эту операцию можно осуществлять автоматически с помощью подачи напряжения, если использовать перестраиваемые интерферометры с пьезоэлементами.

Целью данной работы является уменьшение временных затрат по проведению анализа проб спектральными методами на содержание в них вредных веществ. Достижение данной цели осуществляется путем автоматизации твердотельного лазера на красителях ЛКИ-301.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для уменьшения временных затрат на проведение анализов проб на наличие вредных веществ различными спектральными методами на рис. 3 представлена функциональная схема автоматизированного твердотельного лазера на красителях.

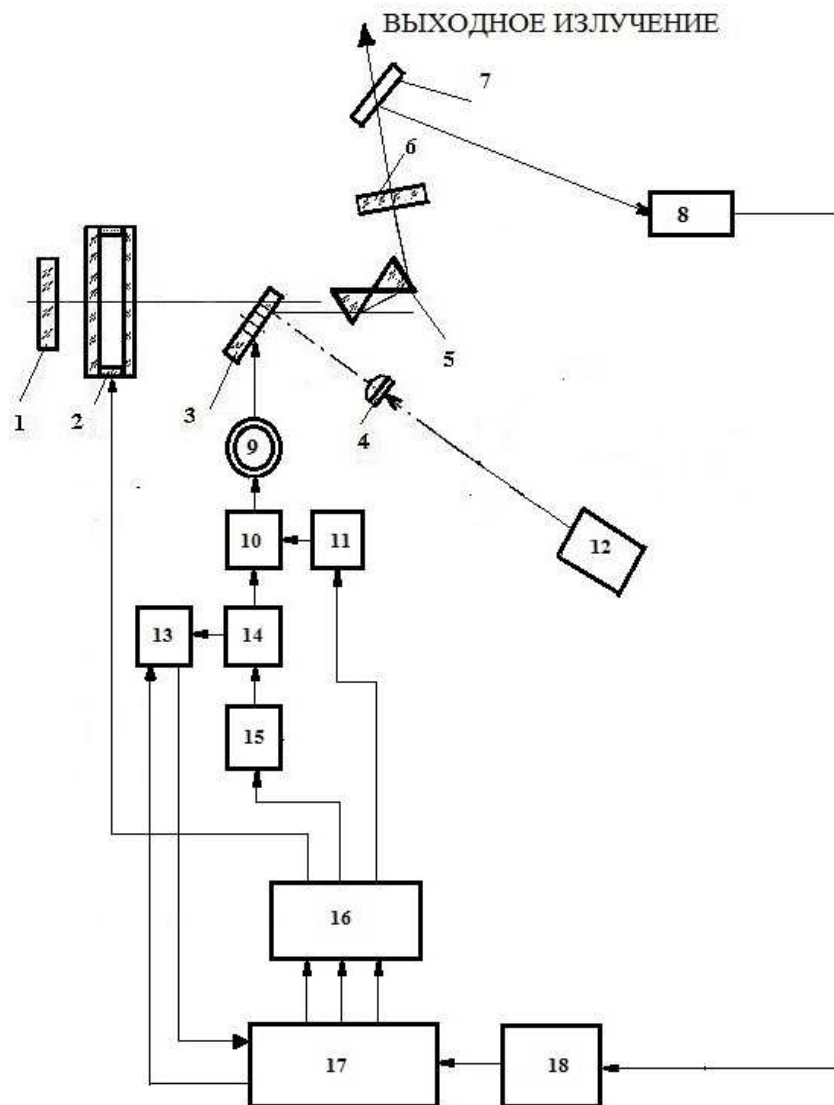


Рис. 3. Функциональная схема автоматизированного твердотельного лазера на красителях: 1 – зеркало оптического резонатора; 2 – перестраиваемый интерферометр; 3 – стойка с активным лазерным элементом; 4 – линза; 5 – призма; 6 – выходное зеркало оптического резонатора; 7 – светоделительное зеркало; 8 – фотопреобразователь; 9 – шаговый двигатель; 10 – электромагнитное реле;

11 – ключ; 12 – лазер накачки; 13 – счетчик импульсов; 14 – генератор импульсов; 15 – ключ; 16 – цифро-аналоговый преобразователь; 17 – компьютер; 18 – аналого-цифровой преобразователь.

Данное устройство содержит: 1 – глухое зеркало; 2 – перестраиваемый интерферометр; 3 – стойка с активным лазерным элементом; 4 – линза; 5 – призма; 6 – выходное зеркало; 7 – светоделительное зеркало; 8 – фотопреобразователь; 9 – шаговый двигатель; 10 – электромагнитное реле; 11 – ключ; 12 – лазер накачки; 13 – счетчик импульсов; 14 – генератор импульсов; 15 – ключ; 16 – цифро-аналоговый преобразователь; 17 – компьютер; 18 – аналого-цифровой преобразователь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Лазер работает следующим образом. Излучение от лазера накачки 12 через линзу 4 падает на активный лазерный элемент, находящийся в стойке 3. Под действием излучения накачки краситель в активном лазерном элементе люминесцирует. Глухое зеркало 1 и выходное зеркало 6 составляют оптический резонатор. Внутри него находится перестраиваемый интерферометр 2, который служит для выделения из широкополосного излучения люминесценции красителя, узкой линии выходного излучения лазера. Необходимое выходное излучение лазера внутри диапазона устанавливается за счет подачи на перестраиваемый интерферометр 2 с компьютера 17 через цифро-аналоговый преобразователь 16 требуемого уровня напряжения. Призма 5 служит для поворота выходного излучения на требуемый угол.

Мощность выходного излучения лазера зависит от многих факторов: от типа красителя в активном лазерном элементе, от его температуры, типа лазера накачки и других параметров. Поэтому при эксплуатации целесообразно измерять его выходную мощность. Для этого предусмотрено светоделительное зеркало 7. С его помощью часть выходного излучения (около 1 %) подает на фотопреобразователь 8 и преобразуется в напряжение, которое через аналого-цифровой преобразователь 18 поступает на компьютер 17.

Изменение диапазона длин волн генерации лазера, осуществляется путем смены его активного элемента. Это может быть осуществлено за счет поворота барабана стойки 3 на требуемый угол. С устройством данных стоек можно ознакомиться в работах [6, 7]. На рис. 4 представлена стойка-радиатор, рассмотренная в работе [6].

Она состоит из стойки 1, выполненной из теплопроводящего материала. В стойке 1 укреплена втулка 5, выполняющая роль подшипника скольжения. Ее целесообразно изготовить из бронзы, которая обладает низким коэффициентом трения и высокой теплопроводностью. На стойке 1 посредством оси 6 размещены зубчатое колесо 3 и барабан 9. Зубчатое колесо 3 крепится на оси 6 с помощью винта 4. Для избегания трения и износа стойки 1 и барабана 9 между ними находится шайба 7 из бронзы. Барабан 9 так же крепится на стойке с помощью винта 8. Барабан 9 выполнен из материала с высокой теплопроводностью, например из бескислородной меди марки М006, которая имеет высокую теплопроводность и

сопротивление разрыву, близкое к стали марки Ст 3, одновременно медный лист обладает необходимой пластичностью для штамповки. В барабане 9 размещаются активные лазерные элементы 10 из эпоксиполимеров или пористых стекол, активированных органическими красителями в виде дисков. На данном рисунке их три. Они фиксируются в барабане 9 с помощью мембранной крышки 11 и винтов 2. Мембранная крышка 11 должна обладать высокой теплопроводностью и упругими свойствами. Поэтому и ее целесообразно выполнить из бескислородной меди марки М006. Внутренний диаметр отверстий в барабане 9 выбирается на 0,1–0,2 мм больше, чем диаметр активных лазерных элементов 10. Барабан 9 и мембранная крышка 11 имеют так же отверстия для попадания на активные лазерные элементы 10 излучения накачки и выхода излучения люминесценции.

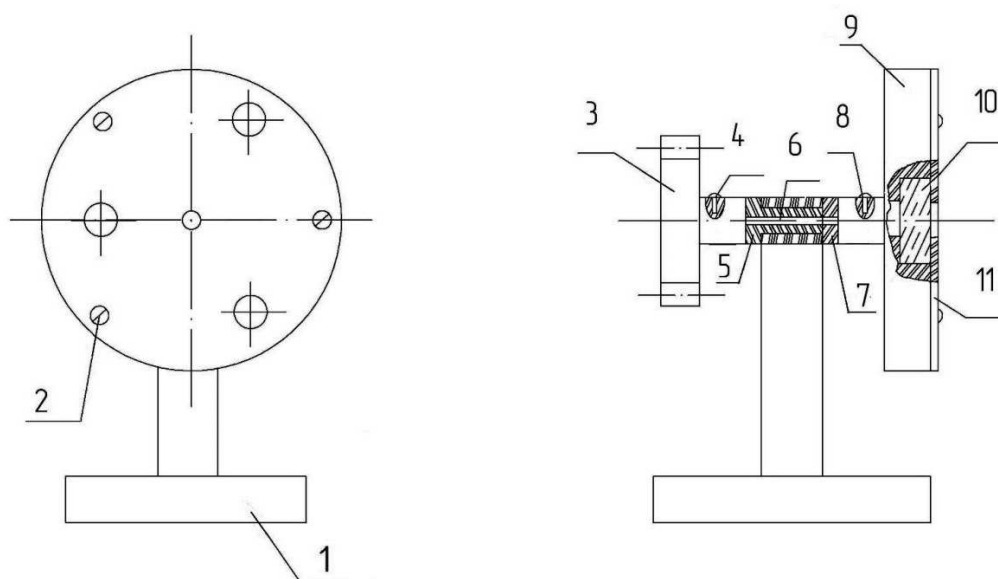


Рис. 4. Стойка-радиатор для активных лазерных элементов: 1 – стойка; 2 – винт; 3 – зубчатое колесо; 4 – винт; 5 – втулка; 6 – ось; 7 – шайба; 8 – винт; 9 – барабан; 10 – активный лазерный элемент; 11 – мембранная крышка

Излучение накачки падает на активный лазерный элемент 10, в результате чего краситель люминесцирует, а сам активный лазерный элемент нагревается. Барабан 9 и мембранная крышка 11 проводят тепло от активного лазерного элемента 10. Через ось 6, шайбу 7 и втулку 5 тепло будет передаваться на стойку 1 и зубчатое колесо 3. Стойка 1 крепится к металлическому днищу лазера. Таким образом, согласно закону Фурье, вся конструкция, включая днище и металлический кожух твердотельного лазера, будут являться радиатором, рассеивающим тепло в окружающую среду конвективной теплоотдачей по закону Ньютона – Рихмана:

$$Q = \alpha(t_c - t_g)S,$$

где: Q – конвективный тепловой поток от всех поверхностей стенок к окружающему воздуху, Вт; α – средний коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м²·К); t_c – температура поверхности стенок, °С; t_g – температура окружающего воздуха, °С; S – площадь всех поверхностей теплообмена, м².

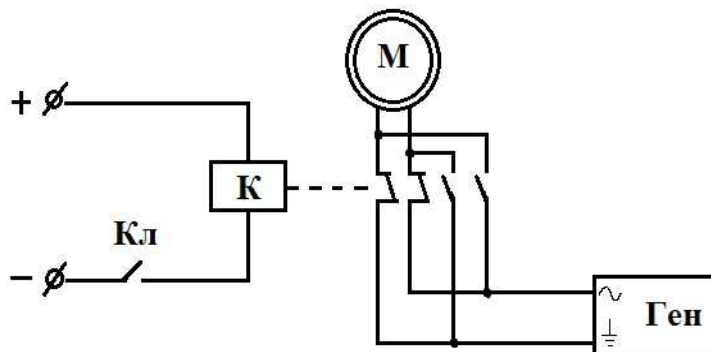
Благодаря упругости мембранной крышки 11 устраняются осевые деформации, возникающие в активном лазерном элементе 10. Благодаря зазору, между отверстием в барабане 9 и активным лазерным элементом 10 устраняется возможность его радиальных деформаций, обусловленных нагревом. Зубчатое колесо 3 позволяет осуществить смену активных лазерных элементов 10 путем поворота барабана 9 на требуемый угол.

Поворот барабана стойки 3 происходит за счет вращения шагового двигателя 9 (рис. 3). Для этого, с компьютера 17 подается сигнал через цифро-аналоговый преобразователь 16 на ключ 15 с целью его открытия. Ключ 15 включает генератор прямоугольных импульсов 14. Импульсы с генератора 14 поступают на контакты электромагнитного реле постоянного тока 10, к которому подключены выводы шагового двигателя 9. Будем считать, что для вращения шагового двигателя 9 по часовой стрелке выводы генератора импульсов 14 и шагового двигателя 9 подключены на нормально замкнутые контакты электромагнитного реле 10 (рис. 5).

Под действием импульсов генератора 14 шаговый двигатель 9 начинает осуществлять вращение барабана стойки 3. К генератору прямоугольных импульсов 14 подключен счетчик импульсов 13, с помощью которого можно контролировать угол поворота шагового двигателя 9. Данные со счетчика импульсов 13 поступают на компьютер 17. При повороте шагового двигателя 9 на требуемый угол, с компьютера 17 через цифро-аналоговый преобразователь 16 поступает сигнал на ключ 15 с целью его закрытия и выключения генератора 14, а также на счетчик импульсов 13 для его обнуления.

При необходимости вращения шагового двигателя 9 против часовой стрелки с компьютера 17 через цифро-аналоговый преобразователь 16 поступает сигнал на ключ 11, который замыкает цепь катушки электромагнитного реле 10. В результате чего электромагнитное реле 10 срабатывает. При этом нормально замкнутые контакты размыкаются, а нормально разомкнутые замыкаются. Далее с помощью компьютера 17 через цифро-аналоговый преобразователь 16 открывается ключ 15, который включает генератор прямоугольных импульсов 14. Теперь импульсы от генератора 14 поступают на нормально разомкнутые контакты электромагнитного реле 10, к которым подключается шаговый двигатель 9, рис. 5. Таким образом, меняется полярность импульсов поступающих на шаговый двигатель 9 и он начинает вращаться против часовой стрелки, осуществляя поворот барабана стойки 3. Для контроля угла поворота шагового двигателя 9 служит счетчик импульсов 13, подключенный к генератору прямоугольных импульсов 14. Данные со счетчика импульсов 13 поступают на компьютер 17. При повороте шагового двигателя 9 на требуемый угол с компьютера 17 через цифро-аналоговый преобразователь 16 поступает сигнал на ключ 15 с целью выключения генератора прямоугольных

импульсов 14 и на ключ 11, который размыкает цепь катушки электромагнитного реле постоянного тока 10. Далее с компьютера 17 поступает сигнал на счетчик импульсов 13 с целью его обнуления.



Кл - ключ; К - катушка электромагнитного реле; М - шаговый двигатель; Ген - генератор импульсов

Рис. 5. Схема подключения шагового двигателя к генератору импульсов через электромагнитное реле постоянного тока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представленный в данной работе твердотельный лазер на красителях позволяет автоматически устанавливать выходное излучение лазера на необходимой длине волны. Это облегчает проведение анализа проб спектральными методами и сокращает необходимые временные затраты.
2. Применение стоек-радиаторов для охлаждения лазерных элементов позволяет увеличить их ресурс и повышать КПД лазера.

Список литературы

1. Деулин Б. И. Модернизация твердотельного лазера на органических красителях ЛКИ-301 / Б. И. Деулин // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии» № 5 (301). – Орел: Издательство ОрелГТУ, 2013. – С. 145–149.
2. Деулин Б. И. Сравнительные характеристики твердотельных лазеров на красителях с различными матрицами / Б. И. Деулин // Материалы VI Международной заочной научно-практической Интернет-конференции «Инновационные, фундаментальные и прикладные исследования в области химии сельскохозяйственному производству». – Орел: ОрелГАУ, 2013. – С. 162–166.
3. Крыжановский В. К. Технические свойства полимерных материалов: Уч.-справочное пос / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко, Ю. В. Крыжановская – СПб.: «Профессия», 2003. – 240 с.
4. Земский В. И. Физика и техника импульсных лазеров на красителях / В. И. Земский, Ю. Л. Колесников, И. К. Мешковский. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. – 176 с.

5. Деулин Б. И. Твердотельный лазер на органических красителях с мембранным радиатором / Б. И. Деулин, В. В. Филиппов // Известия ВолгГТУ, серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь», № 3(161), Т. 11, 2015. – С. 40–44.
6. Деулин Б. И. Стойка-радиатор для твердотельного лазера на красителях / Б. И. Деулин, В. В. Филиппов // Орел: издательство ОрелГАУ, «Агротехника и энергообеспечение» – № 5 (9), 2015. – С. 87–94.
7. Деулин Б. И. Автоматизированная стойка для твердотельных лазерных элементов с мембранными радиаторами / Б. И. Деулин, В. В. Филиппов // Орел: издательство ОрелГАУ, «Агротехника и энергообеспечение» – № 5 (9), 2015. – С. 95–101.

AUTOMATED SOLID DYE LASER

Deulin B. I.

*Orel Technology College, Orel, Russia.
E-mail: boris1967or@qip.ru*

Currently, widespread pollution by heavy metals. They accumulate in the body and can cause cancer. Therefore, a periodic monitoring of water sources and agricultural lands for the content of heavy metals. This can be realized by atomic absorption analysis. The disadvantage of this method is that the absorption lines of the atoms scattered all over the spectrum. This disadvantage is eliminated by the use of wideband tunable dye lasers. A wide range of dyes can cover the entire visible wavelength range from the near infrared to the near ultraviolet.

The aim of this work is to reduce the time spent on carrying out analysis of samples by various spectroscopic methods to the possibility of the content of harmful substances in them. For this proposed automatic laser-based solid-state laser dye LKI - 301. It uses a laser active elements on the porous glass, and epoxy-activated organic dyes in the form of discs, which allow pumping of a "single point". They are installed in a rack, which also serves to cool them and change the wavelength range of the laser output radiation, which is carried out by changing the laser elements, activated by different dyes. Switching the laser elements is carried out by rotation of the drum rack to the desired angle by means of a stepper motor controlled by the computer. Changing the length of the output of the laser radiation by means of a computer-controlled interferometer with piezo.

Keywords: laser, dye, automation, stepper motor.

References

1. Deulin B. I. Modernization of the solid-state laser based on organic dyes LKI-301. Proceedings of the Oryol State Technical University. Series: *Fundamental and applied problems of technique and technology* **301** (5), 145 (2013).
2. Deulin B. I. Comparative characteristics of solid-state dye lasers with different matrix. Proceedings of the VI International correspondence scientific and practical Internet-conference *Innovative, fundamental and applied research in the chemistry of agricultural production*. (Publisher house *OrelGAU*, Orel), 162 (2013).
3. Kryzhanovsky V. K., Rages V. V., Panimatchenko A. D., Kryzhanovskaya Y. V. Technical properties of plastics Tch. and reference book, 240 p (Publisher house *Professiya*, Sanct Petersburg, 2003).

4. Zemsky V. I., Kolesnikov L. Yu., Meshkovsky I. K. Physics and technology of pulsed dye lasers, 176 p. (Publisher house *ITMO*, Sanct Petersburg, 2005).
5. Deulin B. I., Filippov V. V. Solid-state laser based on organic dye membrane radiator. *News of Volgograd State Technical University, series Electronics, measuring equipment, radio and telecommunications*, **161** (3), 40 (2015).
6. Deulin B. I., Filippov V. V. The front radiator for a solid-state dye laser. *Farming and power supply* (Publisher house *OrelGAU*, Orel) № 9 (5), 87 (2015).
7. Deulin B. I., Filippov V. V. Automated stand for solid-state laser elements with membrane radiators. *Farming and power supply* (Publisher house *OrelGAU*, Orel) № 9 (5), 95 (2015).