

**С. В. Николаев, В. В. Пожар, М. И. Дзюбенко**

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины*

*12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина*

E-mail: [svn@ire.kharkov.ua](mailto:svn@ire.kharkov.ua)

## ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ АКТИВНЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ КОМПАУНДОВ, АКТИВИРОВАННЫХ КРАСИТЕЛЯМИ

Созданы и исследованы новые активные среды на основе промышленных полиуретановых систем T-809/T-863, T-813/T-863 (Италия) и EU-29-1/HU-29-1 (Тайвань), активированных рядом лазерных красителей родаминового и оксазинового рядов. Проанализированы оптические характеристики этих полиуретановых компаундов, определена их совместимость с разными красителями и исследованы спектрально-люминесцентные характеристики полученных сред. Изготовлены экспериментальные образцы лазерных матриц на основе полиуретанов разных марок и исследована их генерационная способность. Получено лазерное излучение микросекундной длительности на матрицах из компаундов T-809 и T-813, активированных Родамином 6G, Сульфородамином 101, Оксазином 17 и Оксазином 1, энергетическая эффективность которого зависела от оптического качества изготовленных образцов. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 13 назв.

**Ключевые слова:** твердотельный лазер на красителе, полиуретановая матрица, поперечная накачка.

В последние годы практические потребности стимулируют значительный рост количества исследований, направленных на разработку твердотельных лазеров на красителях (ТЛК) [1–3]. Главной составляющей в этих исследованиях является создание эффективных активных элементов на основе твердых материалов, активированных красителями, обладающих высоким КПД, стабильностью параметров и большим ресурсом работы. Чаще всего в качестве таких материалов используются оптически прозрачные полимеры, отверждение которых возможно при комнатной температуре. В их число входят, в частности, твердые среды на основе полиуретана и его модификаций.

Полиуретаны – это синтетические гетероцепные полимеры. Они могут сильно отличаться друг от друга строением цепи, химической природой и свойствами, но их объединяет наличие в основной цепи макромолекулы уретановых групп  $-NHCOO-$ . Количество уретановых групп зависит от молекулярной массы конкретного полиуретана и соотношения исходных компонентов при его синтезе. Структуру и свойства полиуретанов можно менять в широких пределах путем подбора соответствующих исходных веществ. Полиуретаны относятся к числу тех немногих полимеров, у которых можно направленно регулировать число поперечных связей, гибкость полимерных молекул и характер межмолекулярных взаимодействий. Это дает возможность получать полиуретаны с самыми разнообразными характеристиками. Свойства полиуретанов изменяются в очень широких пределах. Они зависят от природы и длины участков цепи между уретановыми группировками, от структуры материала (линейная или сетчатая), молекулярной массы, степени кристалличности. Полиуретаны могут быть вязкими жидкостями и твердыми аморфными или

кристаллическими веществами, жесткость которых простирается от упругости высокоэластичных мягких резин до твердости жестких пластиков: твердость по Шору от 15 по шкале А до 85 по шкале D.

Наибольший практический интерес для лазерной техники представляют прозрачные полиуретановые эластомеры, изучение которых началось немногим более двадцати лет назад. Предпосылками к этому послужили результаты проводившихся ранее исследований по выяснению механизма лучевого разрушения полимерных матриц, позволивших сделать вывод о необходимости использования эластичных материалов, которые обладают значительными упругими деформациями в широком диапазоне рабочих температур [4].

Принципиальная возможность создания полиуретановых лазерно-активных сред была продемонстрирована в работах [5–7], в которых сообщалось о создании и исследовании при наносекундной длительности возбуждения работоспособных лазерных матриц на основе прозрачного полиуретана и полиуретанаакрилата. При этом было установлено, что полиуретановые среды оптически прозрачны в видимой части спектра длин волн, обеспечивают возможность внедрения различных красителей и обладают высокой лучевой стойкостью в процессе оптической накачки. На этом этапе исследований использовались специально синтезированные в лабораторных условиях полиуретановые композиции и лишь небольшой перечень красителей (Родамин 6G, Астрарфлюксин, Пирометен 597, Тиоперилотрикарбонцианин).

Следующим шагом в изучении полиуретановых лазерных сред на красителях явились исследования, направленные на создание протяженных лазерных матриц на основе полиуретана,

способных работать в условиях мощной поперечной накачки микросекундной длительности [8, 9]. Для этого была разработана методика изготовления цилиндрических полиуретановых матриц длиной более 10 мм, а в качестве активных веществ испытаны Родамин 6G, Оксазин 17 и Оксазин 1. При этом удалось продемонстрировать возможность сужения и перестройки полосы лазерного излучения ТЛК на полиуретановых матрицах с поперечной накачкой и получить генерацию микросекундной длительности с энергией более 120 мДж и КПД ~ 28 %. В ходе дальнейших исследований были детально изучены особенности формирования спектральных, энергетических и пространственно-угловых характеристик излучения поперечно возбуждаемых ТЛК на полиуретановых матрицах [10, 11].

Важным выводом из проведенных ранее исследований является то, что при выборе полиуретанового компаунда для использования в качестве твердой матрицы нужно учитывать, прежде всего, его химические, оптические и теплофизические свойства. Но если иметь в виду перспективу практического внедрения разрабатываемых активных сред, то предпочтительно использовать промышленно производимые компаунды. То же относится и к красителям, которые будут внедрены в эти полимерные среды. Активные среды созданные на основе серийных коммерческих компонентов, будут гораздо дешевле и доступнее, чем уникальные лабораторные образцы, позволят разработать промышленную технологию изготовления лазерных матриц, а поэтому могут стать материалом для серийного производства активных элементов ТЛК.

В настоящее время оптически прозрачные полиуретановые компаунды различного состава и назначения производятся и продаются многими зарубежными фирмами. Чаще всего это жидкие двухкомпонентные полиуретановые системы, состоящие из полуфабриката на основе полиолов и отвердителя, содержащего изоцианаты. По типу полиола полиуретаны могут быть акрил-, полиэфир-, эпоксиуретанами и др. Твердый полимер в таких системах получается в результате реакции радикальной полимеризации, начинающейся после смешивания исходных компонентов и протекающей при комнатной температуре. При промышленном производстве предпочтение отдается именно двухкомпонентным полиуретановым системам, так как они базируются на готовом, стабильном при хранении, жидком форполимере, могут полимеризоваться при комнатной температуре, а в процессе полимеризации не происходит образования побочных низкомолекулярных продуктов. Однако есть и ряд отрицательных моментов, которые необходимо учесть при использовании подобных промышленных

компаундов. Во-первых, как следует из работы [7], метод радикальной полимеризации окрашиваемой твердой основы является приемлемым не для всех красителей. Во-вторых, компоненты систем, произведенных разными фирмами и для разных применений, могут содержать также различные вспомогательные средства (катализаторы, стабилизаторы и т. д.), которые вводятся для обеспечения необходимых технологических характеристик продукта. В результате каждый из компаундов отличается как вязкостью исходных компонентов, временем полимеризации и твердостью (эластичностью) получаемого полимера, так и химическим составом. Заметим, что фирмы-производители, как правило, химический состав, а, следовательно, и тип полиуретанового компаунда не раскрывают, ограничиваясь лишь указанием вязко-упругих характеристик отдельных компонентов и конечного продукта. В такой ситуации пригодность того или иного промышленного полиуретанового компаунда для использования в качестве твердой основы лазерно-активной среды должна определяться экспериментальным путем. Соответствующие эксперименты с одним из промышленных полиуретанов оказались успешными [12, 13], что явилось достаточным основанием для расширения поисков в этом направлении. Поэтому данная работа посвящена исследованию возможности создания новых активных сред на основе трех различных промышленных полиуретановых компаундов.

**1. Методика исследований.** Методика работы была построена таким образом, чтобы получить максимальный объем информации о возможностях использования твердых сред на основе промышленных производных полиуретана для создания активных элементов твердотельных перестраиваемых лазеров на красителях. При этом она включала в себя следующие аспекты:

- определение оптических свойств каждого из полиуретанов, изучение возможности введения в данный компаунд лазерных красителей различных классов;
- исследования спектрально-люминесцентных характеристик вновь созданных полиуретановых активных сред;
- изготовление экспериментальных образцов лазерных матриц и изучение их генерационной способности.

**2. Технические характеристики и оптические свойства полиуретанов.** В качестве твердой основы активных сред были исследованы промышленные полиуретановые составы *T-809/T-863*, *T-813/T-863* (Италия) и *EU-29-1/HU-29-1* (Тайвань). Изначально эти полиуретаны предназначены для создания линзоподобных объемных покрытий. Их твердость (по шкале Шора *D*) составляет: 45 для *T-809/T-863*, 55 для *T-813/T-863* и 55–65 для

*EU-29-1/HU-29-1*. Полимеризация при температуре 22–25 °С длится от 6 до 8 ч. В технических характеристиках указано, что данные компаунды сильно подвержены влиянию температуры и влажности. Повышение температуры уменьшает вязкость компонентов и сокращает время полимеризации. Кроме того, до начала процесса полимеризации реакционно-способная смесь должна быть подвергнута вакуумной дегазации для предотвращения вспенивания.

Чтобы установить, пригодны ли эти полиуретаны для создания твердых активных сред на красителях, необходимо было изучить спектры пропускания каждого из компаундов и определить их совместимость с различными красителями. Измерения спектров пропускания полимерных образцов полиуретанов проводилось на спектрофотометре *VSU2-P*. Результаты измерений приведены на рис. 1, где даны нормированные спектральные зависимости оптической плотности неокрашенных полиуретановых образцов каждого из компаундов.

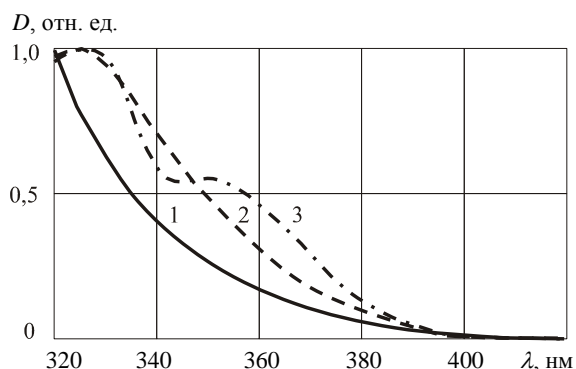


Рис. 1. Спектры пропускания образцов из неокрашенных полиуретанов: 1 – *T-809*; 2 – *EU-29-1/HU-29-1*; 3 – *T-813*

Видно, что исследованные полиуретаны имеют интенсивное поглощение лишь в ультрафиолетовой части спектра, а для излучения с длинами волн от 400 нм и вплоть до ИК-диапазона они практически прозрачны. Следует отметить, что аналогичные спектральные характеристики имели и полиуретаны, использовавшиеся в работе [7]. Можно предположить, что именно такие спектральные свойства присущи прозрачным полиуретановым компаундам.

Измеренные спектры поглощения полиуретанов позволяют сформулировать требования к спектральным характеристикам красителей, совместимых с полиуретановыми средами. Это должны быть красители, обладающие интенсивным поглощением в области длин волн более 400 нм и, соответственно, излучающие в желто-оранжевом, красном и ИК-диапазонах спектра. В настоящее время существует большое число красителей различных классов, обладающих та-

кими спектральными характеристиками, что предоставляет широкое поле для поиска наиболее эффективных сочетаний полиуретан–краситель.

**3. Выбор красителей и определение их совместимости с полиуретанами.** Для активации полиуретановых компаундов мы использовали хорошо известные лазерные красители родаминового и оксазинового рядов, излучающих в оранжевой и красной областях спектра. В частности, были испытаны красители Родамин 6G, Родамин В, Сульфородамин 101, Оксазин 17, Оксазин 1, Нильский синий и Крезилвиолет.

Для введения красителей в полиуретановую массу были опробованы два наиболее распространенных способа:

- непосредственное растворение красителя в одном из жидких компонентов компаунда;
- введение в один из компонентов полиуретановой системы предварительно приготовленного этанольного раствора красителя с последующим вакуумным испарением спирта.

Метод введения в полиуретаны предварительно приготовленных спиртовых растворов красителей оказался более успешным. Все испытанные красители кроме Крезилвиолета и Родамина В эффективно внедрялись в полиуретаны. Крезилвиолет и Родамин В оказались несовместимыми ни с одним из полиуретанов.

Реакцию полимеризации успешно выдержали Родамин 6G, Сульфородамин 101, Оксазин 17 и частично Оксазин 1. При введении последнего в компаунд *T-813* наблюдалась частичная деструкция красителя. Нильский синий проявлял тенденцию к распаду сразу же после смешивания компонентов компаундов и к концу процесса полимеризации обесцвечивался полностью.

**4. Спектрально-люминесцентные свойства новых активных сред.** Для измерения спектральных характеристик активных сред на основании химически совместимых сочетаний полиуретан–краситель использовались спектрофотометр *VSU2-P* и спектрофлуориметр *Hitachi F 1040*. Образцы представляли собой матрицы–триплексы, образованные слоем активированного полиуретана, помещенного между двумя стеклянными подложками. Толщина полиуретановых слоев составляла ~4 мм, а концентрация красителей –  $5 \cdot 10^{-5}$  моль/л. В ходе эксперимента регистрировали и сопоставляли спектры поглощения красителей в каждом из трех полиуретановых компаундов, а также спектры люминесценции красителей в полиуретане *T-809*.

Измеренные спектры поглощения красителей, внедренных в полиуретановые среды, приведены на рис. 2 в виде нормированных спектральных зависимостей оптической плотности *D* образцов каждого из полиуретанов. Для сравнения даны спектры поглощения каждого из краси-

телей в жидких растворах. На рис. 2, а показаны спектры Родамина 6G в разных компаундах (кривые 1–3) и этаноле (кривая 4). Нумерация кривых соответствует спектрам сред на основе: 1 – *T-809*, 2 – *EU-29-1/HU-29-1*, 3 – *T-813*. Спектры поглощения Сульфородамина 101 представлены на рис. 2, б. Здесь спектры 1–3 представляют поглощение в тех же полиуретановых средах, что и на рис. 2, а,

а номерами 4 и 5 обозначены спектры поглощения в этаноле и воде соответственно. На рис. 2, в даны спектры поглощения Оксазина 17. Нумерация кривых аналогична рис. 2, а. И, наконец, на рис. 2, г приведены спектры поглощения Оксазина 1. Здесь зависимости 1 и 2 представляют собой спектры поглощения сред на смолах *T-809* и *EU-29-1/HU-29-1*.

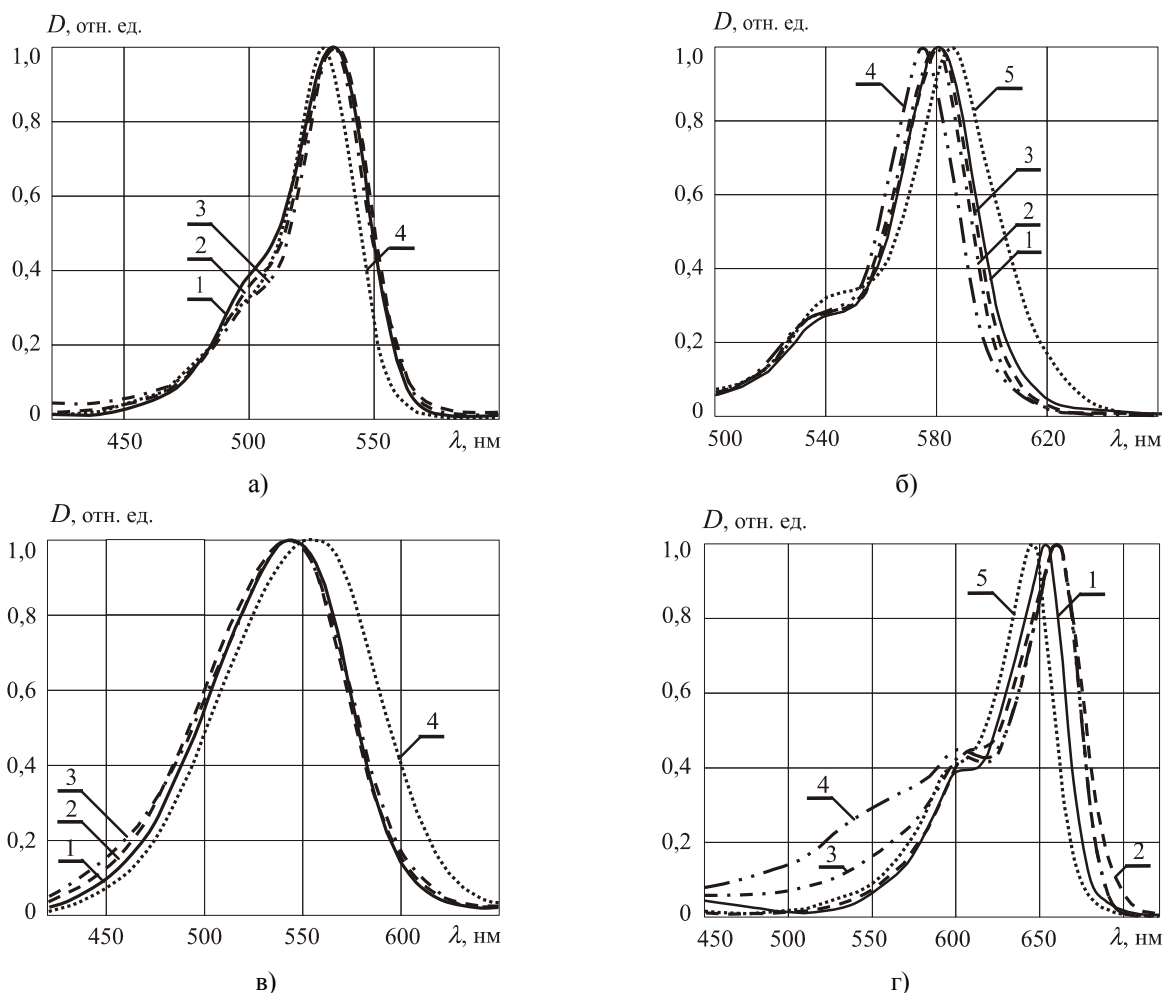


Рис. 2. Спектры поглощения красителей в разных полиуретановых компаундах: а) – Родамин 6G; б) – Сульфородамин 101; в) – Оксазин 17; г) – Оксазин 1

Спектр поглощения, которому соответствует кривая 3, зарегистрирован на образце полиуретана *T-813*, в который Оксазин 1 вводился методом предварительного растворения в этиловом спирте. Кривая 4 представляет собой спектр поглощения образца, который получен при растворении данного красителя непосредственно в смоле *T-813*. Спектр поглощения Оксазина 1 в этаноле обозначен цифрой 5.

Проведенные измерения показали, что спектры поглощения красителей Родамин 6G, Сульфородамин 101, Оксазин 17, внедренных в образцы промышленных полиуретановых компаундов,

аналогичны их спектрам в жидких растворах. Некоторое отличие заключается лишь в небольших спектральных сдвигах максимумов полос поглощения полиуретановых сред относительно жидких растворов. Можно полагать, что молекулы этих красителей не испытывают отрицательного влияния со стороны исследованных полиуретановых компаундов. В то же время спектры поглощения Оксазина 1 в полиуретанах разного типа продемонстрировали, что Оксазин 1 взаимодействовал с испытанными в данном эксперименте полиуретановыми средами не одинаково. Он без видимых изменений внедрялся в поли-

уретаны *T-809* и *EU-29-1/HU-29-1*, а при растворении в компаунде *T-813* проявлялись признаки частичной деструкции. Это видно из характера спектров 3 и 4 на рис. 2, г. Признаки изменения свойств молекул красителя заключаются в появлении более интенсивного поглощения в коротковолновой части спектра, причем степень этих изменений оказалась зависящей от способа растворения красителя в данной среде. В случае растворения красителя непосредственно в полиольной компоненте компаунда коротковолновое поглощение более интенсивно, что свидетельствует о большей степени распада красителя.

Спектры люминесценции каждого из красителей в полиуретане и этаноле, как и спектры поглощения, мало отличаются по форме и ширине. Это можно увидеть на рис. 3, где представлены нормированные спектральные зависимости интенсивности люминесценции  $F$ , измеренные для соответствующих сред. Наблюдается лишь частотное смещение спектров твердотельных сред относительно этанольных растворов. Характер этого смещения повторяет смещение спектров поглощения. Спектры Родамина 6G, Сульфородамина 101 и Оксазина 1 в полиуретане сдвинуты в длинноволновую сторону относительно этанола, а Оксазина 17 – в коротковолновую.

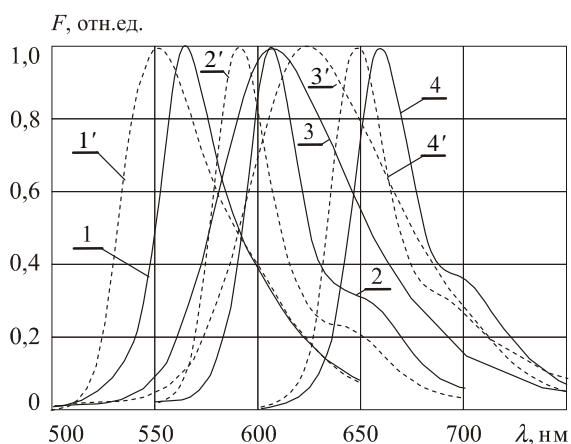


Рис. 3. Спектры люминесценции красителей в полиуретане (1–4) и этаноле (1'–4'): 1,1' – Родамин 6G; 2,2' – Сульфородамин 101; 3,3' – Оксазин 17; 4,4' – Оксазин 1

**5. Методика изготовления лазерных матриц.** Одним из главных требований, которые предъявляются к лазерным активным элементам, есть высокое оптическое качество среды. Для полимерных матриц оно определяется как свойствами используемого вещества, так и методикой изготовления. Главным недостатком большинства полиуретанов является то, что их оптическая однородность значительно уступает однородности сред из полиметилметакрилата и тем более стекол. Кроме того, специфические свойства эластичного

полиуретана не позволяют получить оптическое качество поверхностей образцов путем механической обработки. Следовательно, единственно возможным способом изготовления полиуретановых активных элементов является «отливание» лазерных матриц в формах, обеспечивающих нужные размеры и необходимое оптическое качество поверхностей. Такой способ изготовления полиуретановых матриц был опробован ранее [8] и позволил установить, что достигаемое качество среды зависит от следующих факторов:

- вязкости и «времени жизни» в дополимеризационной фазе исходной реакционно-способной смеси;

- степени «усадки» полиуретановой массы в процессе полимеризации;

- конфигурации формы, в которую производится заливка; температуры, при которой производится заливка и полимеризация полиуретана.

На практике эти факторы оказываются связанными друг с другом, поскольку вязкость и «время жизни» смеси существенно меняются при изменении температуры, а степень проявления эффекта «усадки» зависит от формы и размеров образца. Таким образом, при изготовлении матриц из каждого использованного в данной работе компаунда необходимо было подбирать свою методику.

**6. Исследование генерационной способности полиуретановых активных сред при лазерной накачке.** Для испытания генерационной способности полученных активных сред были изготовлены образцы лазерных матриц. Они имели форму цилиндров с плоскопараллельными торцами, напоминая кюветы жидкостного лазера на красителях. Было обнаружено, что наиболее качественные образцы получаются при заливке компаундов в кварцевые цилиндрические формы длиной 10...20 мм и диаметром 20 мм.

Матрицы, изготовленные из разных компаундов, обладали различным оптическим качеством. Наименее подходящим для создания однородной среды оказался состав *EU-29-1/HU-29-1*, которому присущи наибольшая вязкость исходной смеси и малое время полимеризации. При заливке этого компаунда в кварцевую форму образовывались объемные неоднородности в виде оптических свилей, которые сохранялись и в отвердевшем образце. Поэтому для продолжения экспериментов использовались полиуретаны *T-809/T-863* и *T-813/T-863*, которые при подборе температурного режима позволили изготовить работоспособные матрицы. Так как помимо оптического качества, существенное влияние на эффективность генерации оказывает концентрация красителя в активном элементе, то в набор были включены матрицы с различным содержанием красителей:  $10^{-4}$ ... $10^{-3}$  моль/л.

Испытываемые матрицы возбуждались поперечным способом излучением жидкостного лазера на красителях (ЖЛК). Активными средами ЖЛК служили этанольные растворы красителей, спектры излучения которых находятся вблизи максимумов спектров поглощения красителей, внедренных в полиуретановые среды: Родамин незамещенный ( $\lambda = 560$  нм), Родамин 6G ( $\lambda = 590$  нм) и Оксазин 17 ( $\lambda = 665$  нм). Длительности возбуждающих импульсов составляли 3...5 мкс.

Результаты испытаний показали, что практически все изготовленные образцы матриц оказались генерационно способными. При этом существ-

венных отличий пороговых и энергетических характеристик для матриц из компаундов T-809/T-863 и T-813/T-863, допированных одним и тем же красителем с одинаковой концентрацией, не наблюдалось. Значительно большее влияние на эффективность генерации оказывало оптическое качество среды. Энергетические характеристики лазерного излучения, полученные на наиболее качественных образцах матриц, представлены в таблице. В ней приведены данные о матрицах (название и концентрация красителя  $C$ , тип полиуретана, длина активной зоны), а также значения энергии  $E_e$  и КПД  $\eta$  генерации, достигнутые на данной матрице.

Энергетические характеристики излучения полиуретановых матриц

Краситель	Полиуретан	$l$ , мм	$C$ , моль/л	$E_e$ , мДж	$\eta$ , %
Родамин 6G	T-813	10	$2,5 \cdot 10^{-4}$	32	13
	T-809	20	$1,25 \cdot 10^{-4}$	48	12
Сульфородамин 101	T-809	10	$5 \cdot 10^{-4}$	23,5	20
	T-809	20	$2,5 \cdot 10^{-4}$	76	26
Оксазин 17	T-809	10	$2,5 \cdot 10^{-4}$	28	16
	T-813	20	$2,5 \cdot 10^{-4}$	52	18
Оксазин 1	T-809	10	$5 \cdot 10^{-4}$	46	15
	T-809	20	$2,5 \cdot 10^{-4}$	127	21

**Выводы.** Таким образом, исследована возможность создания новых твердотельных активных сред на основе промышленных полиуретановых компаундов. Для создания активных сред использованы полиуретановые смеси T-809/T-863, T-813/T-863 (Италия) и EU-29-1/HU-29-1 (Тайвань). В качестве активаторов испытаны красители Родамин 6G, Родамин B, Сульфородамин 101, Оксазин 17, Оксазин 1, Нильский синий и Крезилвиолет. Экспериментальным путем выбран оптимальный способ внедрения красителей в полиуретановые среды и определена химическая совместимость красителей с полиуретанами как на этапе растворения, так и в процессе полимеризации матриц. Установлено, что процессы растворения и полимеризации во всех компаундах выдерживают только Родамин 6G, Сульфородамин 101, Оксазин 17 и частично Оксазин 1. Это позволило разработать методику создания твердых активных сред и изготовить необходимые образцы для исследования их спектрально-люминесцентных характеристик.

Проведены исследования спектров поглощения и люминесценции новых лазерно-активных сред. Обнаружено, что спектры поглощения и излучения красителей, внедренных в полимерные среды подобны их спектрам в жидких растворах. Отличия проявляются лишь в возникновении небольших спектральных смещений

полос поглощения и люминесценции полиуретановых сред относительно жидкостных растворов. Сделан вывод, что на молекулы красителей не оказывается отрицательного влияния со стороны исследованных полиуретановых компаундов, за исключением сочетания Оксазина 1 с полиуретаном T-813. В последнем случае наблюдалась частичная деструкция красителя, степень которой зависела от способа растворения красителя в полимерной композиции.

Изготовлены экспериментальные образцы лазерных матриц на основе полиуретанов разных марок и исследована их генерационная способность. Получено лазерное излучение микросекундной длительности на матрицах из компаундов T-809 и T-813, активированных Родамином 6G, Сульфородамином 101, Оксазином 17 и Оксазином 1. Установлено, что энергетическая эффективность генерации зависит главным образом от оптического качества изготовленных образцов.

Результаты проведенных исследований доказывают принципиальную возможность использования промышленных полиуретановых компаундов для создания твердых активных сред для лазеров на красителях.

Работа выполнена при поддержке Государственного агентства по вопросам науки, инноваций и информатизации Украины.

Библиографический список

1. Kranzeilbinder G. Organic solid-state dye lasers / G. Kranzeilbinder, G. Leising // Rep. Prog. Phys. – 2000. – 63. – P. 729–762.
2. PolyimERIC solid-state dye lasers: recent developments / A. Costela, R. García-Moreno, R. Sastre et al. // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2003. – 5. – P. 4745–4763.
3. Solid-state polymeric dye lasers / S. Sunita, V. R. Kanetkar, G. Sridhara et al. // J. Luminescence. – 2003. – 101. – P. 285–291.
4. Эффекты накопления и временная зависимость порога оптического пробоя твердых прозрачных диэлектриков при воздействии когерентного излучения / А. А. Ковалев, Б. И. Макшанцев, Н. Ф. Пилипецкий и др. // Квантовая электрон. – 1980. – 7, № 6. – С. 1287–1303.
5. Безродный В. И. Активные лазерные среды на основе окрашенного полиуретана / В. И. Безродный, А. А. Ищенко // Квантовая электрон. – 2000. – 30, № 12. – С. 1043–1048.
6. Bezrodnyi V. I. High efficiency lasing of a dye-doped polymer laser with 1.06  $\mu\text{m}$  pumping / V. I. Bezrodnyi, A. A. Ishchenko // Appl. Phys. B (Lasers and Optics). – 2001. – B73, N 3. – P. 283–285.
7. Лазер на красителях на основе полиуретановой матрицы / В. И. Безродный, Н. А. Деревянко, А. А. Ищенко и др. // Журн. техн. физики. – 2001. – 71, вып. 7. – С. 72–78.
8. Николаев С. В. Лазерная генерация микросекундных импульсов на полиуретановых матрицах, активированных красителями / С. В. Николаев, В. В. Пожар, М. И. Дзюбенко // Квантовая электрон. – 2006. – 36, № 8. – С. 758–762.
9. Николаев С. В. Твердотельный полиуретановый лазер на красителе, излучающий в дальней красной области спектра / С. В. Николаев, В. В. Пожар, М. И. Дзюбенко // Квантовая электрон. – 2009. – 39, № 9. – С. 789–792.
10. Николаев С. В. Эффективная генерация красителя оксазин 1 в твердой полимерной матрице / С. В. Николаев, В. В. Пожар, М. И. Дзюбенко // Радиотехника: науч.-техн. сб. // Харьков. гос. ун-т. – X., 2006. – Вып. 147. – С. 376–380.
11. Николаев С. В. Исследование особенностей генерации твердотельных лазеров на красителях при поперечном способе возбуждения / С. В. Николаев, В. В. Пожар, М. И. Дзюбенко // Радиофизика и электрон. – 2011. – 2(16), № 2. – С. 55–62.
12. Николаев С. В. Лазерные свойства активной среды на основе Сульфородамина 101, внедренного в промышленный полиуретановый компаунд / С. В. Николаев, В. В. Пожар, М. И. Дзюбенко // Квантовая электрон. – 2010. – 40, № 12. – С. 1112–1115.
13. Николаев С. В. Генерационные характеристики оксазиновых красителей в твердых полиуретановых матрицах / С. В. Николаев, В. В. Пожар, М. И. Дзюбенко // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2009. – 14, № 3. – С. 358–365.

S. V. Nikolaev, V. V. Pozhar, M. I. Dzyubenko

RESEARCH OF NEW SOLID-STATE ACTIVE MEDIA ON THE BASIS OF INDUSTRIAL POLYURETHANE COMPOUNDS, ACTIVATED BY DYES

New active media on the basis of industrial polyurethane systems T-809/T-863, T-813/T-863 (Italy) and EU-29-1/HU-29-1 (Taiwan), activated by several Rhodamine and oxazine laser dyes have been created and investigated. Optical characteristics of these polyurethane compounds have been analysed, their compatibility with different dyes is determined and spectroluminescent characteristics of the received media have been investigated. Experimental samples of laser matrices on the basis of chosen polyurethanes were made and their lasing ability was investigated. Laser emission of microsecond duration from matrixes on a basis of T-809/T-863, T-813/T-863 compounds, activated by Rhodamine 6G, Sulforhodamine 101, Oxazine 17 and Oxazine 1 was received. It is established that the power efficiency of laser emission depends on optical quality of the made samples.

С. В. Ніколаєв, В. В. Пожар, М. І. Дзюбенко

ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ТВЕРДОТІЛЬНИХ АКТИВНИХ СЕРЕДОВИЩ НА ОСНОВІ ПРОМИСЛОВИХ ПОЛІУРЕТАНОВИХ КОМПАУНДІВ, АКТИВОВАНИХ БАРВНИКАМИ

Створено і досліджено нові активні середовища на основі промислових поліуретанових систем T-809/T-863, T-813/T-863 (Італія) і EU-29-1/HU-29-1 (Тайвань), активованих декількома родаміновими і оксазиновими лазерними барвниками. Проаналізовано оптичні характеристики цих поліуретанових компаундів, визначено їх сумісність з різними барвниками і досліджено спектрально-люмінесцентні характеристики отриманих середовищ. Виготовлено експериментальні зразки лазерних матриць на основі вибраних поліуретанів і досліджено їх генераційну здатність. Отримано лазерне випромінювання микросекундної тривалості на матрицях з компаундів T-809 і T-813, активованих Родаміном 6G, Сульфородаміном 101, Оксазином 17 і Оксазином 1. Встановлено, що енергетична ефективність лазерного випромінювання залежить від оптичної якості виготовлених зразків.

**Ключові слова:** твердотільний лазер на барвнику, поліуретанова матриця, поперечне накачування.

Рукопись поступила 07.12.2011