УДК 621.373.826.038.824

ПОЛИМЕРНЫЙ ЛАЗЕР НА КРАСИТЕЛЕ С БОЛЬШИМ РЕСУРСОМ

В. Г. Баленко[1], С. М. Долотов[1], А. Н. Киркин,
А. М. Можаровский, А. С. Резниченко[1]

Получена генерация вблизи 570 нм в модифицированном акриловом полимере, активированном красителем фенаалемин 512. Накачка осуществлялась второй гармоникой излучения квазинепрерывного Nd:YAG лазера, работавшего в режимах модуляции добротности или двойной модуляции (с дополнительной активной синхронизацией мод). Ресурс работы лазера с активным полимерным элементом в виде диска $\phi 40 \times 3$ мм превышал 10^7 лазерных импульсов. КПД генерации составлял 10% при накачке лазером с модуляцией добротности. Длительность импульсов лазера на красителе составляла ~ 100 нс при режиме модуляции добротности и ~ 100 пс при двойной модуляции Nd:YAG лазера.

Использование полимерных оптических материалов, активированных красителями, является перспективным направлением в разработке перестраиваемых лазеров [1–3, 6]. Преимущество лазеров с активным полимерным элементом (АПЭ) по сравнению с обычными жидкостными лазерами на красителях состоит, прежде всего, в отсутствии системы прокачки активного вещества и возможности быстрого перехода из одного спектрального диапазона в другой путем простой замены АПЭ.

В настоящее время актуальной задачей является улучшение эксплуатационных характеристик АПЭ, в частности, повышение ресурса их работы. Это требует разработки новых полимерных оптических материалов с повышенной оптической прочностью

[1]МНПО "НИОПИК".

и лазерных красителей, обладающих высокой фотостойкостью. Кроме того, большой интерес представляет исследование возможностей применения АПЭ для получения генерации в пикосекундном диапазоне длительностей.

Традиционно используемый для изготовления АПЭ полимер полиметилметакрилат (ПММА) обладает относительно невысокой оптической прочностью. Для повышения оптической прочности ПММА используется, как правило, введение низкомолекулярных пластификаторов или сополимеризация с некоторыми акриловыми мономерами [2–4]. При этом, однако, снижается микротвердость полимера, что приводит к усложнению процесса обработки поверхностей АПЭ и ухудшению их качества. Поэтому представляет интерес способ получения АПЭ типа "триплекс", при котором полимерный оптический материал, активированный красителем, располагается между оптическими стеклами, которые, в данном случае, образуют оптические поверхности элемента. При этом пластичность полимера обеспечивает хороший оптический контакт между стеклом и полимером и дает возможность оптической юстировки АПЭ. Характеристики АПЭ типа "триплекс" на основе олигоуретанакрилатов представлены в [3–5]. Недостатком олигоуретанакрилатов для получения оптических полимерных материалов является трудность их химической и механической очистки, что оказывает отрицательное влияние на характеристики АПЭ (снижение фотостойкости красителя и оптической прочности полимера). Более перспективным, на наш взгляд, является использование для получения такого типа АПЭ акриловых полимеров, обладающих необходимыми вязкоэластичными свойствами. Такие материалы могут быть получены из индивидуальных мономеров высокой степени очистки, т.к. низкая вязкость мономеров позволяет осуществить и очистку полимеризационной смеси от механических загрязнений и обеспечить высокое оптическое качество полимера.

В настоящей работе использован модифицированный акриловый полимер с улучшенными характеристиками, имевший высокие эластичность, лазерную прочность и оптическую однородность. Лазерный элемент (триплекс) представлял собой активированный красителем феналемин 512 слой полимера в виде диска диаметром 40 *мм* и толщиной 3 *мм*, который зажимался между двумя стеклянными подложками толщиной 3 *мм*.

Для накачки использовалась вторая гармоника (0,53 *мкм*) излучения непрерывного $Nd{:}YAG$ лазера с модуляцией добротности и активной синхронизацией мод [7]. Этот лазер был создан на основе непрерывного лазера ЛТН-101 и имел внутри 1,5 *м* резонатора два акустооптических модулятора, стоячей и бегущей волны. Они позволяли получать

различные режимы генерации: модуляцию добротности с регулируемой (до $\simeq 1\,кГц$) частотой следования импульсов, активную синхронизацию мод и двойной режим модуляции (при одновременном включении обоих модуляторов). При работе в двойном режиме модуляции лазер генерировал цуги 1,06 *мкм* импульсов длительностью 70 *пс* с расстоянием между соседними импульсами 10 *нс*. Каждый цуг содержал около 20 ультракоротких импульсов. Средняя мощность лазерного излучения достигала 1,6 *Вт* при частоте следования цугов 2 *кГц*. Диаметр пучка на выходе лазера равнялся 1,5 *мм*. При работе лазера в режиме модуляции добротности он генерировал импульсы длительностью около 200 *нс*. В этом режиме средняя мощность излучения также составляла 1,6 *Вт* при частоте следования импульсов 2 *кГц*. Частота лазерного излучения удваивалась кристаллом КТР длиной 8 *мм*, располагавшимся в перетяжке телескопа, образованного линзами $f = 18\,см$. Средняя мощность преобразованного излучения (0,53 *мкм*) на выходе кристалла КТР достигала 500 *мВт* в режиме двойной модуляции и 120 *мВт* в режиме модуляции добротности при частоте следования импульсов 2 *кГц*.

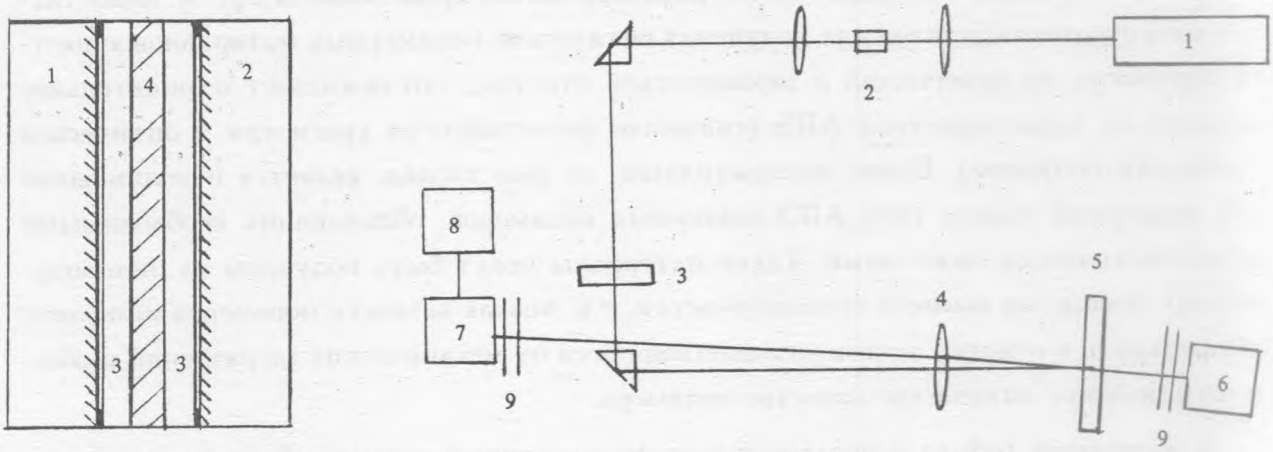

Рис. 1. *Конструкция полимерного лазера на красителе: 1, 2 – диэлектрические зеркала, 3 – стеклянные подложки диаметром 40 мм, 4 – активированный красителем полимер.*

Рис. 2. *Схема экспериментальной установки: 1 – Nd:YAG лазер, 2 – кристалл КТР, 3 – селективное зеркало М для фильтрации 1,06 мкм излучения, 4 – линза F = 10 см, 5 – активный лазерный элемент, 6 – калориметр ИМО-2Н, 7 – фотодиод ФД-24К, 8 – частотомер Ч3-54, 9 – оптические фильтры.*

Для полимерного лазера на красителе была выбрана схема с коротким резонатором (рис. 1). Он был образован двумя плоскими диэлектрическими зеркалами, прижимавшимися через тонкую (0,1 *мм*) прокладку к активному элементу. При этом длина лазерного резонатора практически равнялась толщине триплекса (9 *мм*). Короткий резонатор имел малую критичность к угловой расстройке и, кроме того, обеспечивал быстрое развитие генерации. Зеркала резонатора имели коэффициент пропускания 80% на длине волны накачки 0,53 *мкм* и коэффициенты отражения 90 и 95% на длине волны генерации красителя 0,57 – 0,60 *мкм*. Для увеличения ресурса активного элемента и устранения тепловой линзы, образующейся в активной среде при накачке, активный элемент можно было вращать вокруг оси со скоростью 1 – 10 *об/сек*.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 2. Пучок накачки проходил через зеркало M, служившее фильтром для 1,06 *мкм* излучения, и собирался линзой F в активную среду в пятно диаметром $\simeq 0,5$ *мм*. Поглощение 0,53 *мкм* излучения накачки в 3 *мм* слое активированного полимера составляло $\simeq 90\%$. В экспериментах измерялась средняя мощность излучения генерации лазера с АПЭ и его ресурс, определявшийся числом импульсов генерации, через которое средняя мощность излучения (или скорость счета импульсов) падала в два раза. Мощность излучения измерялась калориметром ИМО-2Н, а число импульсов генерации частотомером ЧЗ-54, подключенным к фотодиоду ФД-24К. Временные характеристики лазерного излучения измерялись фотодиодом ЛФД-2А с выводом на осциллограф С1-75.

Лучший КПД генерации АПЭ был получен при режиме модуляции добротности Nd:YAG лазера. При использовании полимера, активированного красителем феналемин 512, средняя мощность излучения лазера на красителе достигала 2 *мВт* при частоте следования импульсов 1 *кГц*, мощности накачки 20 *мВт* и эффективности преобразования $\simeq 10\%$. Ресурс работы активного элемента составлял 10^6 лазерных импульсов для кольцевого участка, расположенного на расстоянии $R = 10$ *мм* от центра. При сканировании активного элемента диаметром 40 *мм* ресурс работы превышал 10^7 импульсов. Дополнительные измерения показали, что этот ресурс соответствовал уменьшению поглощения (на длине волны 0,53 *мкм* для слабого сигнала) активированного красителем полимера примерно в два раза. При увеличении частоты следования импульсов свыше 1 *кГц* мощность излучения лазера на красителе падала из-за образования в полимере тепловой линзы. Использование двойного режима модуляции Nd:YAG лазера не привело к увеличению средней мощности излучения полимерного лазера. При мощности накачки $\simeq 80$ *мВт* и частоте следования импульсов 1 *кГц* она составляла

$\simeq 2\,мВт$. Расходимость излучения лазера на красителе с АПЭ и коротким резонатором составляла $\sim 10^{-2}\,рад$.

При накачке в режиме модуляции добротности $Nd{:}YAG$ лазера длительность импульсов лазера на красителе соответстьовала длительности импульсов накачки $\simeq$ 200 $нс$. При использовании режима двойной модуляции лазер на красителе генерировал цуги ультракоротких импульсов длительностью $\sim 100\,нс$. Огибающая этих цугов была несколько короче, чем огибающая сигнала накачки.

Использовавшаяся в настоящей работе схема короткого резонатора не позволяла вводить в резонатор дополнительные элементы и плавно перестраивать длину волны генерации. В связи с этим представляет интерес исследование режима синхронной накачки полимерного лазера на красителе с использованием накачки цугом ультракоротких импульсов. Можно полагать, что этот режим генерации, использующий резонатор большой длины, позволит создать перестраиваемый пикосекундный лазер с хорошей расходимостью излучения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Hermef R. H., Alik T. H., Chandra F., and Hutchinson J. A., Appl. Phys. Lett., **63**, 877 (1993).

[2] Gromov D. A., Dymaev K. M., Manenkov A. A., Maslyukov A. P., Matyushin G. A., Nechitailo V. F., and Prokhorov A. M., J. Opt. Soc. Am., **B2**, 1058 (1993).

[3] Бондар М. В., Пржонская О. В., Тихонов Е. А., Маслюк А. Ф., Денисов Л. К., Цогоева С. А., Краснов И. В., Квантовая электроника, **12**, N 12, 2465 (1985).

[4] O' Connel R. M. et al., Opt. Eng., **22**, 393 (1983).

[5] Безродный В. И., Бондар М. В., Пржонская О. В., Тихонов Е. А., Известия АН СССР, сер. физ., **54**, N 8, 1476 (1990).

[6] Жильцов В. И., Дорофеев С. Н., Климанина А. Г., ПТЭ, N 2, 248 (1986).

[7] Киркин А. Н., Можаровский А. М., Овчинников А. В., Попов М. Б., Препринт ФИАН, N 70, М., 1991.

Поступила в редакцию 30 июня 1994 г.

$\simeq 2\,мВт$. Расходимость излучения лазера на красителе с АПЭ и коротким резонатором составляла $\sim 10^{-2}\,рад$.

При накачке в режиме модуляции добротности Nd:YAG лазера длительность импульсов лазера на красителе соответстьовала длительности импульсов накачки $\simeq$ $200\,нс$. При использовании режима двойной модуляции лазер на красителе генерировал цуги ультракоротких импульсов длительностью $\sim 100\,нс$. Огибающая этих цугов была несколько короче, чем огибающая сигнала накачки.

Использовавшаяся в настоящей работе схема короткого резонатора не позволяла вводить в резонатор дополнительные элементы и плавно перестраивать длину волны генерации. В связи с этим представляет интерес исследование режима синхронной накачки полимерного лазера на красителе с использованием накачки цугом ультракоротких импульсов. Можно полагать, что этот режим генерации, использующий резонатор большой длины, позволит создать перестраиваемый пикосекундный лазер с хорошей расходимостью излучения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Hermef R. H., Alik T. H., Chandra F., and Hutchinson J. A., Appl. Phys. Lett., **63**, 877 (1993).

[2] Gromov D. A., Dymaev K. M., Manenkov A. A., Maslyukov A. P., Matyushin G. A., Nechitailo V. F., and Prokhorov A. M., J. Opt. Soc. Am., **B2**, 1058 (1993).

[3] Бондар М. В., Пржонская О. В., Тихонов Е. А., Маслюк А. Ф., Денисов Л. К., Цогоева С. А., Краснов И. В., Квантовая электроника, **12**, N 12, 2465 (1985).

[4] O' Connel R. M. et al., Opt. Eng., **22**, 393 (1983).

[5] Безродный В. И., Бондар М. В., Пржонская О. В., Тихонов Е. А., Известия АН СССР, сер. физ., **54**, N 8, 1476 (1990).

[6] Жильцов В. И., Дорофеев С. Н., Климанина А. Г., ПТЭ, N 2, 248 (1986).

[7] Киркин А. Н., Можаровский А. М., Овчинников А. В., Попов М. Б., Препринт ФИАН, N 70, М., 1991.

Поступила в редакцию 30 июня 1994 г.