

ЭФФЕКТИВНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ЗЕЛЕННОЙ ОБЛАСТИ НА РАСТВОРАХ КРАСИТЕЛЕЙ НОВОГО КЛАССА

*М. И. Дзюбенко, В. В. Маслов,
И. Г. Науменко и В. П. Пелипенко*

При накачке коаксиальной импульсной лампой получена генерация в диапазоне 490–530 нм на новом перспективном классе красителей — производных 2-иминобензопирана, по эффективности не уступающих родамину 6Ж и отличающихся высокой фотоустойчивостью. Наибольшая энергия генерации одного из них составляет 10.5 Дж при КПД 1.2% на длине волны 530 нм. Исследованы спектральные и генерационные характеристики ряда красителей этого класса, а также описана система накачки, позволяющая реализовать высокий КПД и энергию генерации.

В настоящее время рядом авторов получена генерация на растворах органических соединений с эффективностью, превышающей 1%, и значительной выходной энергией. Из известных веществ лучшие результаты дают в синей области спектра — кумариновые красители [1], в желтой и красной областях — ксантоновые, феноксазиновые и феноксазоновые [1–3]. До сих пор, однако, отсутствовали красители, генерирующие в зеленой области с такой же эффективностью. Давно используемые растворы флуоресцеина натрия [4], бриллиантового сульфавинового [5], родамина незамещенного характеризуются низким значением КПД и фотоустойчивостью и большой величиной триплет-триплетного поглощения. Для лучшего из них — родамина незамещенного — КПД генерации составляет 0.2% [2] при выходной энергии 1 Дж. При больших энергиях накачки КПД еще более низок [1] вследствие сильного фотораспада молекул красителя. Эти же недостатки пока присущи и растворам производных фталимида [6]. Синтезированные авторами [7] производные кумарина обладают более приемлемыми генерационными свойствами, однако все же существенно худшими, чем, например, родамин 6Ж.

В данной работе сообщается о получении генерации в зеленой области на красителях, производных 2-иминобензопирана, по КПД не уступающих родамину 6Ж, и описывается система накачки, позволяющая реализовать высокоэффективную генерацию.

Разрядный контур системы накачки состоял из последовательно соединенных конденсатора 18 мкФ, 20 кВ, вакуумного разрядника и разработанной нами специально для накачки растворов красителей разборной лампы-кюветы, представляющей собой усовершенствованный вариант применявшейся в [1]. Эскиз лампы-кюветы в собранном виде показан на рис. 1. Лампа-кювета имеет коаксиальную конфигурацию, которая отличается малой индуктивностью и является, как известно [8], одной из наиболее экономичных при накачке цилиндрических образцов. Отражающим материалом осветителя служил порошок окиси магния, который запрессовывался в полость между внешней кварцевой трубкой и металлическим кожухом лампы с толщиной слоя 1...1.5 мм.

На энергетические и временные характеристики импульса излучения накачки и тем самым на КПД генерации существенно влияет согласо-

ние сопротивлений в разрядном контуре. В системах накачки красителей увеличение мощности достигается, как правило, повышением напряжения питания при небольшой величине накопительной емкости. Волновое сопротивление контура в таком случае оказывается намного больше активного сопротивления нагрузки (лампы), поэтому разрядный ток имеет вид затухающих колебаний. Световой импульс накачки при этом имеет пологий задний фронт, за время которого бесполезно высвечивается значительная доля запасенной энергии. Уменьшение волнового сопротивления разрядного контура достигалось нами максимальным снижением индуктивности контура (она равнялась 55 нГн) и увеличением емкости до величины, при которой еще не слишком возрастает полуширина импульса накачки за счет увеличения RC контура. С указанным

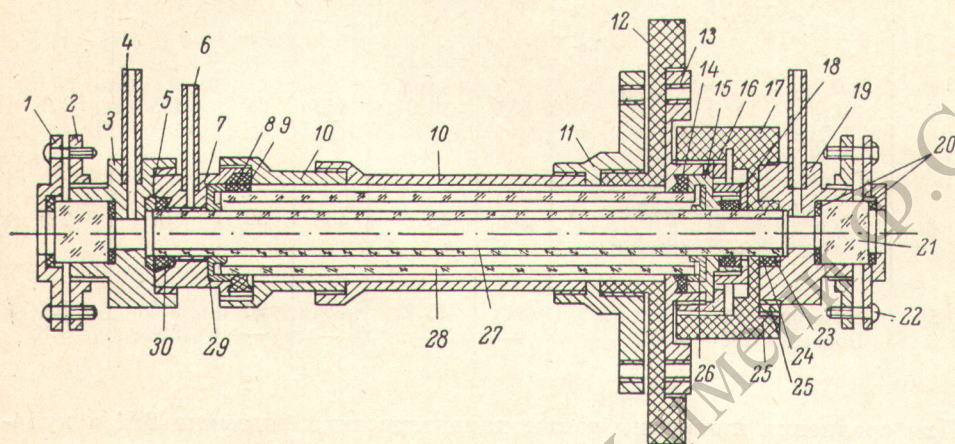


Рис. 1. Конструкция коаксиальной лампы-кюветы.

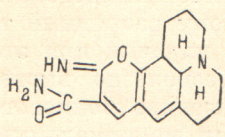
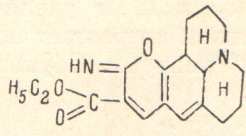
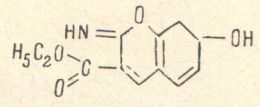
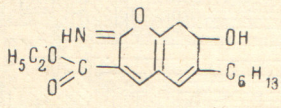
1, 2, 3, 19, 20, 21, 22 — торцевые узлы кюветы; 4 — патрубок подачи раствора; 5, 8, 14, 23, 30 — уплотнительные прокладки, фторопласт, силиконовая резина; 6 — патрубок для откачки и заполнения разрядной полости; 7, 15 — электроды с впрессованными молибденовыми наконечниками 26 и 29; 10 — кожух лампы; 11, 13 — токоподводящие фланцы; 12, 17 — изоляторы; 27, 28 — кварцевые трубки.

значением емкости режим разряда был близок к критическому при любых достижимых величинах запасенной энергии. На осциллограмме разрядного тока наблюдается два полупериода, причем на первый приходится 60...80% излучаемой энергии. Сопротивление нагрузки можно подбирать для заданной энергии, в некоторых пределах меняя давление ксенона и размеры разрядной полости.

Особенностью данной конструкции лампы является ее способность выдерживать без разрушения импульсные разряды большой мощности, что достигается благодаря «мягкому» соединению кварцевых трубок с металлическими деталями и пониженному давлению ксенона (15—20 тор). Предельная нагрузка при длительности импульса 4 мкс составляла 3—3,5 кДж. Две соединенные параллельно лампы ИФП-5000 в том же контуре разрушаются при энергии 1,2—1,5 кДж. Лампа-кювета весьма удобна и надежна в эксплуатации в условиях лаборатории. Она проста в изготовлении и сборке, хотя содержит относительно большое количество деталей. При выходе из строя достаточно заменить одну или обе кварцевые трубки. Конструкция позволяет изменять размеры кюветы без ухудшения условий накачки, а также легко переходить к варианту кюветы с двойными стенками.

Генерационные характеристики красителей измерялись в плоском резонаторе (диэлектрическое зеркало $r=98\%$ и стеклянная пластина). Диаметр кюветы 10,5 мм, облучаемая длина 280 мм. Выходная энергия измерялась с помощью измерителя ИКТ-1М.

Нами был исследован ряд красителей производных 2-иминобензо-пирана. Характеристики четырех лучших из них приведены в таблице.

№ п/п	Краситель	$\lambda_{\text{М}}^{\text{П}}$, нм	$\epsilon \cdot 10^{-3}$	$\lambda_{\text{М}}^{\text{Ф}}$, нм	φ , %	$\lambda_{\text{ср.}}$, нм	$E_{\text{Г}}$, Дж
1		460	31	480	85	531	10.5
2		450	43	490	76	521	6.2
3		435	36.9	460	68	495	2.0
4		435	48	468	50	501	2.2
5	Кумарин-314	443	45.3	484	90	510	5.1
6	Родамин 6Ж	—	—	—	—	588	9.8

Для сравнения приведены также характеристики родамина 6Ж и кумарина-314 [7], измеренные при тех же условиях. Все красители растворялись в метаноле, насыщенном воздухом. Для генерации концентрация каждого красителя подбиралась из расчета $K_{\text{полг.}} = 10 \text{ см}^{-1}$ в максимуме

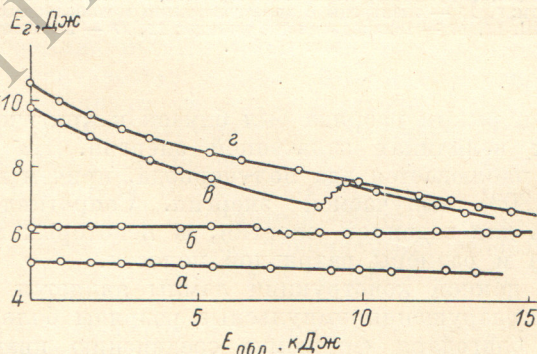


Рис. 2. Зависимость выходной энергии от энергии облучения растворов кумарина-314 (а), красителя № 2 (б), родамина 6Ж (в) и красителя № 1 (г).

Извилистая стрелка означает, что измерения продолжались после отстаивания раствора в течение 15 ч

длинноволновой полосы поглощения. В таблице указаны длина волны максимума поглощения $\lambda_{\text{М}}^{\text{П}}$, молярный коэффициент экстинкции ϵ , длина волны максимума флуоресценции $\lambda_{\text{М}}^{\text{Ф}}$, квантовый выход флуоресценции φ , средняя длина волны $\lambda_{\text{ср.}}$ и энергия $E_{\text{Г}}$ генерации при электрической накачки 900 Дж.

Рис. 2 иллюстрирует устойчивость исследуемых соединений к воздействию света накачки (объем раствора в системе циркуляции жидкости во всех случаях равен 0.5 л, какие-либо меры по фильтрации УФ части излучения накачки не применялись).

Как видим, краситель № 1 генерирует столь же эффективно, как и родамин 6Ж (КПД соответственно 1.2 и 1.1%) и примерно вдвое лучше,

чем кумарин-314 (0.6%). КПД генерации красителя № 2 ниже (0.7%), чем родамина 6Ж, однако примечательна его исключительно высокая фотоустойчивость (рис. 2). E_r этого красителя снижается на 30% только после облучения раствора энергией $E_{обл.} = 60$ кДж в течение трех суток. Красители № 3 и № 4 также обладают хорошей фотоустойчивостью, хотя и несколько худшей, чем у красителя № 2.

Следует также отметить, что некоторые красители данного класса имеют яркую флуоресценцию в газовой фазе при возбуждении УФ излучением. Это указывает на возможность использования их в качестве активных сред лазеров на парах красителей.

Авторы надеются, что продолжение исследований данного класса может дать еще более высокие результаты.

Литература

- [1] М. И. Дзюбенко, И. Г. Науменко, В. П. Пелипенко, С. Е. Солдатенко. Письма ЖЭТФ, 18, 43, 1973.
- [2] Квантовая электроника и лазерная спектроскопия. «Наука и техника», Минск, 1974.
- [3] D. Basting, D. Ouw, F. P. Schäffer. Opt. Commun., 18, 260, 1976.
- [4] P. P. Sorokin, J. R. Lankard. IBM J. Res. Develop., 11, 148, 1967.
- [5] J. B. Marling, D. W. Gregg, S. J. Thomas. IEEE J. Quant. Electron., 6, 570, 1970.
- [6] В. А. Алексеев, Л. Ф. Гладченко, А. Д. Дасько, Б. В. Калячев, Л. Г. Пикулик, А. Ф. Сильницкий. Ж. прикл. спектр., 22, 934, 1975.
- [7] G. A. Reynolds, K. H. Dreihage. Opt. Commun., 13, 222, 1975.
- [8] А. Л. Микаэлян, М. Л. Тер-Микаэлян, Ю. Г. Турков. Оптические генераторы на твердом теле. «Сов. радио», М., 1967.

Поступило в Редакцию 5 марта 1979 г.