

Н. П. КОЗЛОВ, Ю. С. ПРОТАСОВ

**ГЕНЕРАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ В ОБЛАСТИ
339—640 НМ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ПЛАЗМЕННЫМ ФОКУСОМ
МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО КОМПРЕССОРА**

(Представлено академиком Н. Г. Басовым 27 III 1975)

1. Лазеры на органических красителях (л.о.к.) создают уникальные возможности для разделения изотопов, селективного возбуждения реагентов в лазерной химии, в абсорбционном и флюоресцентном анализе (^{1, 2}). Наиболее существенное препятствие применению л.о.к. для разделения изотопов в лазерной химии — малые значения выходной энергии этих лазеров, так как выход продуктов деления или химической реакции пропорционален затраченной на эти процессы энергии. Существенные значения энергии и к.п.д. для большинства красителей из-за наличия $(T-T_0)$ -поглощения можно получить лишь при коротких импульсах накачки, формирование которых в газоразрядных лампах сопряжено со значительными техническими трудностями и приводит к снижению эффективности накачки из-за ухудшения согласования сопротивлений формирующего контура плазмы и смещения спектра излучения в у.-ф. область. Кроме того, использование источников накачки, имеющих планковский спектр излучения, не позволяет рассчитывать на существенное повышение эффективности системы, так как увеличение потоков излучения компенсируется уменьшением энергетического к.п.д. (³).

Перспективны селективные источники излучения с «непланковским» спектром, позволяющие эффективно преобразовывать запасенную энергию в излучение нужного диапазона энергий квантов, возможность создания которых на основе плазмы газового разряда впервые показана в (⁴). Спектр излучения оптически тонкой плазмы с преобладающим тормозным механизмом весьма эффективен для накачки л.о.к. Такой источник может иметь высокую интенсивность в интервале энергий фотонов, создающих инверсную населенность в активной среде ОКГ ($h\nu \sim 1-6$ эв), и терять мало энергии на излучение в более коротковолновой части спектра, что определяется резкой зависимостью коэффициента тормозного поглощения от энергии фотонов. При надлежащем выборе плотности и температуры плазмы спектр излучения оказывается уже спектра излучения черного тела, его ширина может быть $\sim 2T$ при $\sim 10T$ у черного тела. Эти условия реализуются в плазменном фокусе магнитоплазменного компрессора (⁵).

Исследования радиационных свойств плазменного фокуса в области 0,6—20 эв с использованием комплекса диагностических методов (спектральная аппаратура 800—200 нм, калиброванные фотоэлементы 1500—240 нм, висмутовый трехслойный боломер 200—10 нм, ионизационные камеры 100—30 нм) показали, что спектр излучения резко отличен от планковского и в области 2—6,0 эв при длительности импульсов 1—22 нсек. яркостная температура составляет 2—2,5 эв.

Возможность широкого изменения параметров плазмы в зоне компрессии ($T_e \sim 2-6$ эв, $n_e \sim 10^{17}-10^{19}$ см⁻³) при сохранении высоких энергетических показателей ($\eta_{\text{свет}} \sim 25-40\%$, $\eta_{\text{эл}} \sim 0,7-0,9$), работа с частотой повторения $\sim 10^2$ гц и относительно простое управление спектром излучения при использовании в качестве плазмообразующих веществ практически всех необходимых элементов (⁶), делают магнитоплазменный компрессор в настоящее время одним из немногих устройств, позволяющих эффективно

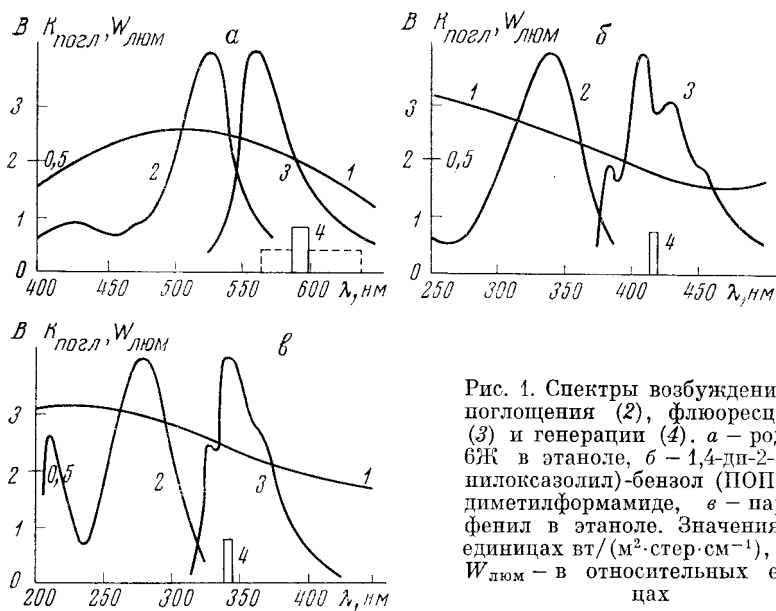


Рис. 1. Спектры возбуждения (1), поглощения (2), флюоресценции (3) и генерации (4). а — родамин 6Ж в этаноле, б — 1,4-ди-2-(5-фенилоксазолил)-бензол (ПОПОП) в диметилформамиде, в — паратерфенил в этаноле. Значения B в единицах $\text{вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{стер} \cdot \text{см}^{-1})$, $K_{\text{погл}}$, $W_{\text{люм}}$ — в относительных единицах

преобразовывать энергию 10^3 – 10^6 дж в излучение нужного, достаточно широкого диапазона частот квантов. При оптимизации параметров формирующего контура, геометрии магнитоплазменного компрессора, соответствующем выборе материалов разрядной плазмы — для обеспечения необходимых значений плотности и температуры в зоне компрессии — удалось повысить плотность потока фотонов на активное вещество в полосах поглощения до $(2\text{--}3) \cdot 10^{23} (\text{см}^2 \cdot \text{сек})^{-1}$, что на порядок выше достигнутых значений в газоразрядных лампах в оптимальном режиме.

2. Возбуждение растворов органических красителей проводилось на установке⁽⁵⁾ при пороговых для образования и устойчивого существования плазменного фокуса энергиях $\sim 1\text{--}3$ кдж. Параметры разряда: $C_0 = 150\text{--}756$ мкф, $U_0 = 3\text{--}5$ кв, $I_{\text{max}} \sim 70\text{--}220$ кв, $\tau_p = 1,2\text{--}22$ мксек., $n_e = 7 \cdot 10^{17}\text{--}5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $T_e = 2,5\text{--}4$ эв.

Плазменный фокус был окружен кварцевой колбой с профилированной преградой-отражателем для преобразования части кинетической энергии потока плазмы в излучение с температурой торможения ~ 2 эв. Состав плазмообразующих веществ выбирали из условия получения максимальной спектральной яркости излучения в области высоких коэффициентов экстинкции растворов (рис. 1, 1). Возбуждение растворов красителей проводили в кварцевых кюветах длиной 90–120 мм (соответствующих длине фокуса) и внутренним диаметром 3–9 мм с непараллельностью торцов в пределах $1''$. Концентрацию растворов красителей изменяли в пределах $C = (4\text{--}15) \cdot 10^{-4} \text{ М}$. Радиация накачки в области дальнего у.-ф. отфильтровывалась стенками кюветы и концентрированными растворами NaCOOH . Диффузные цилиндрические и эллиптические отражатели имели покрытие из окиси кремния. Резонатор образован плоскими диэлектрическими зеркалами с коэффициентами отражения на длине волны генерации $R' \sim 0,8\text{--}0,99$ и $R'' \sim 0,22\text{--}0,78$.

В этих условиях генерация получена на различных органических соединениях, обладающих высоким квантовым выходом люминесценции, в классах ксантенов, оксазолов и органических люминофоров, спектрально-люминесцентные характеристики которых приводятся на рис. 1, 2, 3.

В табл. 1 приведены некоторые экспериментальные результаты по возбуждению растворов родамина 6Ж, 1,4-ди-2-(5-фенилоксазолил)-бензола (ПОПОП) и паратерфенила.

Вещество	Растворитель	Концентрация, 10 ⁻⁴ · мол/л	Энергия накачки, дж	$R' \cdot R''$	Центр генера- ции, нм	К.п.д. преобра- зования, %	Мощность генера- ции, Мвт
Родамин 6Ж	Этанол	7	2700	0,94-0,62	595	0,24	7,5
ПОПОП	Диметил- формамид	4	1200	0,88-0,48	420	0,22	3,4
Паратер- фенил	Этанол	9	1875	0,9-0,75	3420	0,14	26

Беспичковый квазистационарный характер генерации присущ всем исследованным красителям, что связано с чрезвычайно большими значениями спектральных вероятностей переходов в канале генерации ⁽⁷⁾ и плотностей потока фотонов на активное вещество. Для разных красителей порог генерации зависел от концентрации активных центров, длины резонатора и природы растворителя; пороговая мощность накачки составляла 10–25% от максимальной; зависимость энергии генерации от электрической энергии накачки (1–2 кдж) имеет линейный характер. Расходимость излучения, измеренная по разверткам картины поля в дальней зоне, в начале генерации составляет (1–4)·10⁻³ радиан, а к концу импульса генерации ~1,5·10⁻² радиан, что определяется чисто лазерными механизмами и, в первую очередь, пространственной неоднородностью поля накачки и генерации. Ее устранение при введении концентраторов магнитного поля, равномерной по радиусу засветки активного вещества позволит существенно повысить к.п.д. и спектральную яркость генерации. Спектральные свойства генерируемого излучения наиболее подробно исследовались для родамина 6Ж, где в зависимости от экспериментальных условий был перекрыт диапазон 565–640 нм.

Исследованные зависимости длины волны генерации от концентрации активных частиц и потерь в резонаторе, смещение максимума генерируемой полосы при изменении концентрации частиц и мощности накачки коррелируют с аналогичными зависимостями при ламповом возбуждении ⁽⁸⁾. Максимальная ширина спектра наблюдается в момент максимума генерации и составляет ~15 нм. Формируя импульсы возбуждения с более крутым передним фронтом в полосе поглощения ~0,3 мсек., — тем самым уменьшая конверсию в триплетное состояние и (T–T)-реабсорбцию ^(9, 10), — впервые была получена генерация в у.-ф. области спектра с такими высокими параметрами.

Полученные результаты далеко не предельны. Экспериментально наблюдаемая стабилизация электронной температуры за счет излучения на уровне 2–5 эв, пропорциональный рост длины зоны компрессии с сохранением высоких степеней сжатия при увеличении вкладываемой в разряд энергии (1–44 кдж) позволяют существенно увеличить энергетические параметры л.о.к.

Московское высшее техническое училище
им. Н. Э. Баумана

Поступила
14 II 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Г. Басов, Е. П. Маркин и др., Письма ЖЭТФ, т. 14, № 4, 251 (1971).
- ² М. Басс, Т. Дейч, М. Вебер, УФН, т. 105, в. 3, 521 (1971). ³ Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, М., Физматгиз, 1963. ⁴ В. Б. Розанов, ДАН, т. 182, № 2, 320 (1968).
- ⁵ Н. П. Козлов, Л. В. Лесков и др., ЖТФ, т. 43, № 4, 740 (1973); ЖТФ, т. 44, № 12, 2519 (1974). ⁶ Н. П. Козлов, Ю. С. Протасов, Тез. докл. VI Всесоюз. конфер. по когерентной и нелинейной оптике, Ташкент, 1974, Изд-во МГУ, 1974. ⁷ Б. И. Степанов, А. Н. Рубинов, УФН, т. 95, в. 1, 45 (1968). ⁸ А. Н. Рубинов, В. А. Мостовников, Докл. АН БССР, т. 2, № 7, 602 (1968). ⁹ Ю. Н. Янайт, Г. Н. Абакумов и др., Письма ЖЭТФ, т. 13, № 11, 616 (1971). ¹⁰ Н. П. Козлов, В. А. Алексеев и др., Там же, т. 20, № 11, 716 (1974).