

ИМПУЛЬСНЫЙ КОАКСИАЛЬНЫЙ ПЛАЗМЕННЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ НАКАЧКИ МОЩНЫХ ЛАЗЕРОВ НА КРАСИТЕЛЯХ

Б.А. БАРИХИН., Е.З. ПАНУСЕВИЧ

Гродненский госуниверситет, 230023, ул. Ожешко, 22, Гродно,
Белоруссия

boyarkin@univer.belpak.grodno.by

Аннотация. Рассматривается плазменный электроразрядный излучатель, оптические свойства которого удовлетворяют требованиям, предъявляемым к источнику накачки лазеров на красителях. Приводятся электрические и световые характеристики излучателя. Особое внимание уделено условиям формирования однородного плазменного образования.

Обычно лазерный модуль на растворах красителей построен по следующей схеме разрядного контура: “система управления режимом работы разрядного контура ↔ емкостной накопитель → управляемый высоковольтный коммутатор → токоведущая линия → нагрузка”. В данной работе в качестве нагрузки рассматривается плазма электрического разряда в импульсной коаксиальной лампе (ИКЛ). Источник питания лазерного модуля должен обеспечивать возможность оперативного маневра величиной энергии, выделяемой на нагрузке, и длительностью импульса, в течение которого она выделяется. Энергия импульса определяется уровнем рабочего напряжения источника и электрической емкостью накопителя. Изменение длительности импульса в схеме разрядного контура обеспечивается изменением волнового сопротивления токоведущей линии.

Поскольку для возбуждения активной среды лазера используется излучение плазмы (оптическая накачка), свойства этого излучения можно изменять в соответствии с условиями поставленной задачи, выбирая необходимые уровень напряжения, приложенного к электродам разрядной полости (РП), и давление рабочего газа (Балтаков и др., 1975). Электрическая емкость описываемого разрядного контура определяется емкостью накопителя, который представляет собой батарею из конденсаторов, соединенных параллельно, общей емкостью (в секции) $C_0 \sim 10^2$ мкФ. Индуктивность контура обусловлена собственными индуктивностями токоведущей линии и нагрузки и составляет $L_0 = 0,1$ мкГн. Нагрузкой служит ИКЛ, у которой активное сопротивление разрядной плазмы $R_a \sim 10^{-2}$ Ом в

максимуме импульса тока. Накопитель заряжается до рабочего напряжения $0 \leq u_0 \leq 40$ кВ. Разрядная полость ИКЛ после эвакуации заполняется Хе, рабочее давление газа $P_0 \geq 1$ кПа. Указанное выше значение R_a реализуется в диапазоне $1 \leq P_0 \leq 10$ кПа.

Условия и требования к источнику накачки лазера на красителях в максимальной степени учтены в конструкции ИКЛ, в которой в отличие от ранее использованных конструкций (Маршак, 1978) предусмотрены:

- 1) Развязка металлических и кварцевых элементов для повышения механической прочности ИКЛ при импульсных нагрузках с крутым передним фронтом.
- 2) Возможность изменения геометрических размеров разрядной полости для повышения механической прочности ИКЛ и расширения диапазона управления спектром излучения накачки.
- 3) Возможность уменьшения давления рабочего газа в разрядной полости независимо от напряжения на источнике питания для повышения механической прочности ИКЛ и расширения диапазона управления спектром излучения накачки.
- 4) Конструктивное решение обратного токопровода ИКЛ для обеспечения равномерного освещения излучением накачки активной среды лазера.

Обычное техническое решение конструкции ИКЛ предусматривает обратный токопровод в виде сплошной проводящей цилиндрической трубы, которое одновременно является несущей конструкции лампы. Однако при этом упускается из вида то обстоятельство, что в сплошной трубе возможно возникновение азимутальных, т.е. непараллельных оси трубы, токов, приводящее к контракции разряда в отдельных областях по периметру РП, что снижает однородность разряда в РП и равномерность освещения боковой поверхности активного элемента. Тем самым ухудшаются пространственные характеристики излучения лазера, в частности угловая расходимость, изменяется распределение накачки по объему активной среды, что приводит к снижению выходной энергии и к.п.д. лазера.

Прямыми измерениями в схеме с постоянной активной нагрузкой $R_a = 10^{-2}$ Ом установлено, что индуктивность цепи $L_0 = 0,3$ мкГ, волновое сопротивление контура $Z_k = 5 \cdot 10^{-2}$ Ом, разряд - периодический, затухающий, постоянная затухания $\gamma_p = 5,81 \cdot 10^4$ с⁻¹, добротность разрядного контура $Q \approx 3,5$, отношение энергии, вводимой в разряд за первый полупериод импульса тока (21,8 мкс), к энергии, запасенной в конденсаторной батарее равно 0,6. На рис. 1 приводится осциллограмма разрядного тока, на импульс которого

наложена рассчитанная кривая интегрального по объёму межэлектродного промежутка электрического сопротивления R_a электроразрядной плазмы. На рис. 2 приводятся осциллограммы

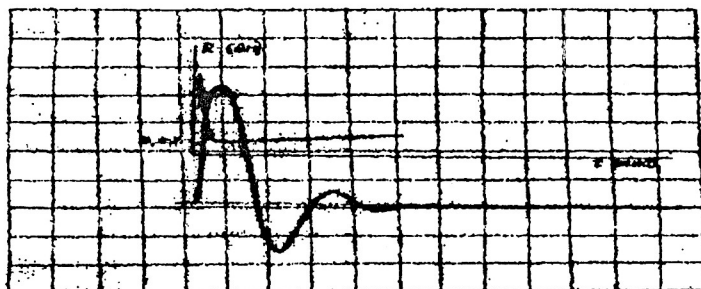


Рис. 1

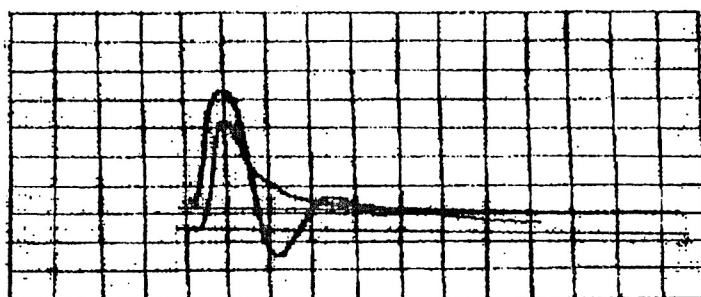


Рис. 2

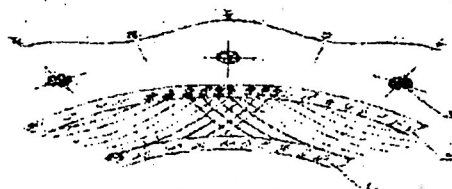


Рис. 3

разрядного тока (нижний луч) и импульса оптического излучения плазмы (верхний луч).

В экспериментах с секционированным накопителем исследован режим работы разрядного контура при коммутации на ИКЛ двух секций накопителя. Обработка полученных данных показывает, что в этом случае параметры второго импульса разряда несколько отличаются от параметров первого. Отличия состоят в том, что в исследованном диапазоне задержек между импульсами (до ~ 1 мс) активное сопротивление плазмы разряда во втором импульсе $R_{a2} \approx 0,8 R_{a1}$. Кроме того, длительность первого полупериода тока во втором импульсе больше, чем в первом $T_{12} \approx T_{11}$. Однако принципиального характера эти отличия не носят.

Параллельно с измерениями параметров электрического разряда в ИКЛ проводились измерения ее световых характеристик. Форма импульса излучения плазмы электрического разряда (верхний луч на рис. 2) регистрировалась коаксиальными вакуумными фотозементами типа ФЭК. Из полученных данных можно сделать вывод о подобии передних фронтов импульсов тока и светового излучения (в спектральной области 320 – 600 нм в пределах точности измерений). Яркостная температура разряда T определялась по результатам калориметрических и калибровочных измерений.

Для получения больших значений выходной энергии лазера необходимо среди прочих решить задачи равномерности освещения раствора красителя по периметру поперечного сечения активной среды и обеспечения высокой механической прочности конструкции ИКЛ при ударных нагрузках. Первая задача имеет решающее значение для эффективного преобразования оптической накачки в генерируемое излучение.

С целью улучшения пространственных и энергетических характеристик излучения ЛОК путем повышения равномерности освещения боковой поверхности активного элемента, обратный токопровод ИКЛ выполняется в виде набора высоковольтных коаксиальных кабелей. В этом случае повышение однородности разряда достигается тем, что обратный токопровод в виде набора кабелей обеспечивает "принудительную" устойчивость тока в нем по сравнению со сплошным, т.к. изолированные промежутки между кабелями препятствуют развитию азимутальных неустойчивостей. На рис. 3 показаны линии равного магнетогидродинамического давления в плазме электрического разряда в объеме РП. Кривая верхней части рисунка описывает распределение давления в поперечном сечении ИКЛ, рассчитанное в рамках обычной магнетогидродинамической модели (Кнопфель, 1978). Легко видеть, что такое распределение обеспечивает продольную устойчивость полого цилиндрического столба плазмы и исключает развитие азимутальных неустойчивостей при стационарном протекании разрядного тока.

Литература:

- Балтаков Ф.Н., Барихин В.А.: 1975, *Кв. электроника*, 2, 822.
 Кнопфель Г.: 1972, *Сверхсильные импульсные магнитные поля*, Москва, изд. "Мир".
 Маршак И.С. : 1978, *Импульсные источники света*, Москва, изд. "Энергия".