

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ РАЗРЯДА В ЛАЗЕРЕ НА УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Предложен метод электромагнитного управления газовым разрядом в CO₂-лазере. Проведены эксперименты по исследованию инерционности перемещения разряда под действием поперечного магнитного поля.

Электромагнитное управление, газовый разряд, инерционность перемещения разряда, поперечное магнитное поле

Несмотря на успешное внедрение в современную технологию твердотельных и, в частности, волоконных лазеров, CO₂-лазеры по-прежнему широко используются при резке различных диэлектрических материалов (дерево, пластик, стекло и др.), а также в отдельных случаях – металлов. При толщине обрабатываемого материала больше 2 мм CO₂-лазер обладает несомненным преимуществом по сравнению с волоконным лазером [1], так как качество резки при использовании CO₂-лазера ощутимо выше. Однако следует иметь в виду, что лазерная резка и сварка различных материалов (особенно при большой толщине) наиболее эффективна не в непрерывном, а в пакетно-импульсном режиме излучения лазера. Импульсный режим излучения лазера существенно ослабляет вредное влияние лазерного «факела» на качество фокусировки лазерного излучения, и, кроме того, не происходит уширение зоны обработки материала за счет растекания теплового потока. Таким образом, весьма актуальной является задача амплитудной модуляции мощности CO₂-лазера. В [2] рассматриваются различные виды модуляции излучения CO₂-лазеров. Наиболее перспективным методом модуляции считается «внутренняя» модуляция, основанная на использовании источника высокочастотного питания лазера, работающего в частотно-импульсном режиме. Модуляция осуществляется за счет зависимости мощности излучения лазера от разрядного тока.

Реализация данного метода модуляции мощности лазера имеет ряд недостатков:

- а) управляющий элемент является высоковольтным, так как современные технологические отпаянные CO₂-лазеры требуют большого значения анодного напряжения питания (20...50 кВ);
- б) для обеспечения надежного поджига разряда требуется инициирующий импульс напряжения, в два раза превышающий значение напряжения питания лазера, при этом в разрядном промежутке возникают токовые шнуры [2], т. е. разряд становится неоднородным и нестационарным, возможны колебания когерентной мощности лазера;
- в) из-за больших времен релаксационных процессов в разряде форма импульса излучения лазера отличается от прямоугольной;
- г) погасание и повторное зажигание разряда с большой частотой снижает срок службы лазера из-за возникающих «стартовых потерь» [3].

Для устранения данных недостатков целесообразно использовать электромагнитную модуляцию мощности излучения CO_2 -лазера. Экспериментальный макет такого лазера содержит разрядную трубку, которая помещена в зазоры магнитопроводов электромагнита, состоящего из набора секций, в состав которых входят электромагнитные катушки и магнитопроводы. Для повышения равномерности конфигурации силовых линий магнитного поля использовали специальный концентратор. Сам лазер был подсоединен к вакуумной установке, которая позволяла изменять рабочее давление газовой смеси в разрядной трубке лазера.

При включении в разрядной трубке формируется тлеющий разряд. Электроны, взаимодействуя с молекулами лазерной смеси газов, возбуждают верхние метастабильные уровни молекулы CO_2 , обеспечивая инверсию населенности активной среды. За счет индуцированных переходов возникают когерентные кванты, приводящие к дополнительным индуцированным переходам. Плотность энергии когерентных квантов начинает нарастать. В соответствии с соотношением Эйнштейна вероятность индуцированных переходов возрастает. Этот процесс носит прогрессивно нарастающий характер. В итоге лазер входит в квазистационарный режим. Усиление когерентного излучения компенсирует выход когерентной мощности лазера и потери излучения в активной среде. При этом между зеркалами оптического резонатора лазера устанавливается стоячая электромагнитная волна. Плотность энергии этой волны в поперечном по отношению к оси разряда направлении носит гауссов характер, т. е. она максимальна на оси разряда и спадает до нуля на стенках разрядной трубки. Примерно такое же распределение имеет плотность электронов разряда и возбужденных молекул углекислого газа.

Таким образом, распределения плотности когерентных квантов и возбужденных молекул углекислого газа имеют приблизительно одинаковый характер, что обеспечивает необходимую вероятность индуцированных переходов и нормальную работу лазера.

При подаче напряжения на катушки электромагнита в воздушном зазоре магнитопроводов возникает магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен оси разрядной трубки. За счет силы Лоренца электроны разряда устремляются к стеклянной стенке разрядной трубки и заряжают ее до значительного отрицательного потенциала. Под действием этого потенциала ионы разряда также устремляются к стенке и весь газовый разряд плотно прижимается к одной стенке разрядной трубки. Распределение электронов и возбужденных молекул углекислого газа в плоскости, перпендикулярной оси разряда, начинает носить сугубо неоднородный характер: концентрация возбужденных молекул углекислого газа на оси равна нулю и максимальна у одной из стенок разрядной трубки.

Распределение плотности энергии когерентных квантов не может носить такой характер, так как в современных лазерах применяются сферические зеркала оптического резонатора и возникающие у стенки (вне оси резонатора) когерентные кванты будут в значительной мере теряться и не установят в резонаторе стационарной стоячей волны. Таким образом, лазер прекращает генерировать когерентное излучение.

Быстродействие магнитного управления CO_2 -лазером определяется временем нарастания магнитного поля, временем перемещения разряда внутри трубки, временем жизни возбужденных молекул и временем установления излучения в резонаторе.

Таким образом, при работе CO_2 -лазера, управляемого поперечным магнитным полем в динамическом режиме, временное отставание выходной мощности излучения лазера относительно входного сигнала (в данном случае входным сигналом является ток катушки управления, поскольку для создания поперечного магнитного поля применяется система электромагнитов) зависит от следующих факторов:

- инерционности нарастания индукции магнитного поля;
- конечного времени перемещения разряда в магнитном поле.

Фактор инерционности нарастания индукции магнитного поля определяется параметрами и схемой включения электромагнита (при определенных условиях его можно сделать весьма малым). Таким образом, наиболее эффективная магнитная модуляция газового разряда может быть реализована за счет изменений параметров существования разряда, обеспечивающих ускоренное перемещение его под действием поперечного магнитного поля. Так как спад генерации лазера обусловлен рядом факторов, то было решено оценить наиболее значительный из них – инерционность перемещения разряда.

В [4] показано, что в длинных цилиндрических трубках перемещение разряда под действием поперечного магнитного поля можно оценивать по изменению интенсивности его свечения.

Теоретический анализ переходных процессов в разряде, помещенном в поперечное магнитное поле, весьма затруднен, поэтому были проведены экспериментальные исследования этих процессов. Все эксперименты проводились на макете CO_2 -лазера. Питание электромагнитов осуществлялось переменным током, т. е. исследование отклонения разряда производилось в динамическом режиме. С помощью осциллографа GOS-620 зафиксированы интенсивность свечения разряда ($I_{\text{СВ}}$) и форма тока в электромагните ($I_{\text{М}}$), одна из осциллограмм представлена на рис. 1.

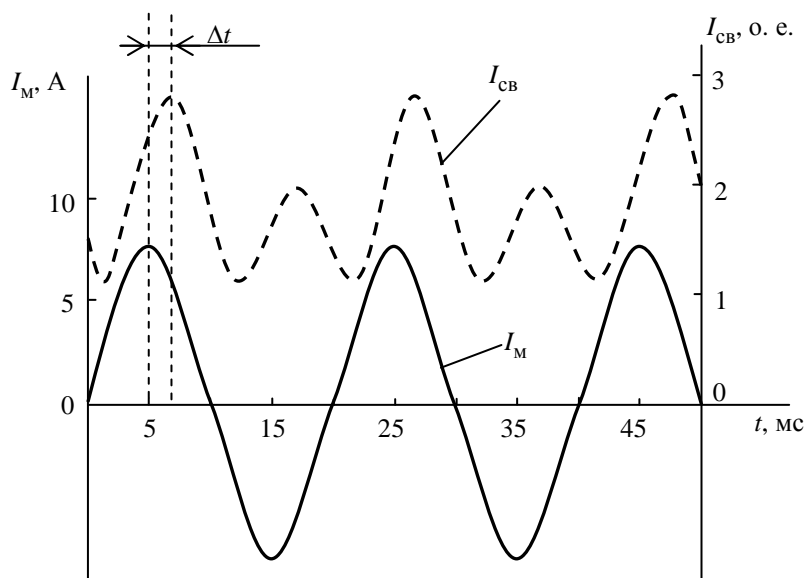


Рис. 1

Исследование перемещения газового разряда проводилось с помощью фотодиода (ФД) и измерительного прибора U . ФД расположен у края разрядной трубки (рис. 2), этим объясняется разная высота пиков на осциллограмме свечения разряда. В отсутствие

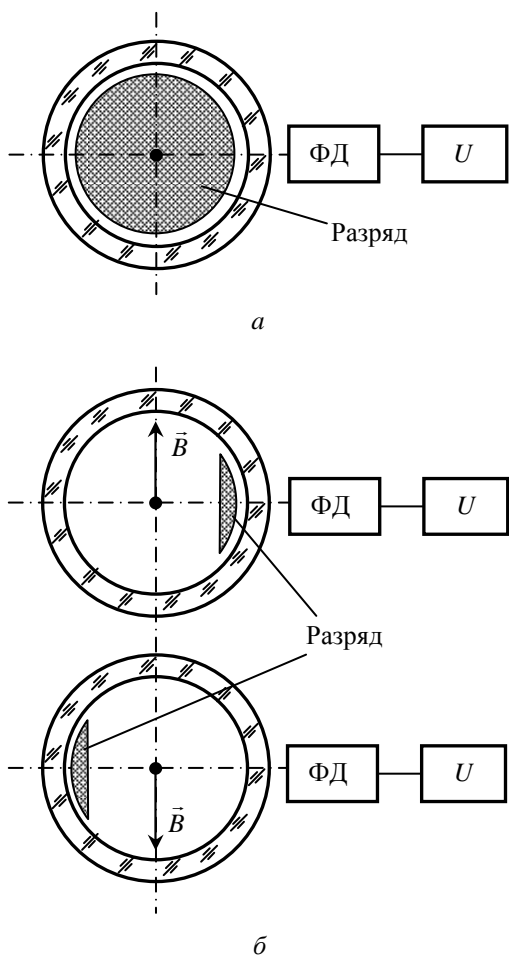


Рис. 2

управляющего магнитного поля газовый разряд занимает весь объем трубки (рис. 2, а). При возникновении поперечного магнитного поля разряд сдвигается к одной из стенок разрядной трубки в зависимости от направления вектора магнитной индукции. Большой по амплитуде пик соответствует разряду, прижатому к стенке, у которой находится фотодиод (рис. 2, б). Меньший по амплитуде пик обусловлен свечением разряда, прижатого к противоположной от фотодиода стенке (рис. 2, б). Полученные осциллограммы позволяют определить инерционность перемещения газового разряда в CO_2 -лазере, которую в первом приближении можно оценить по сдвигу кривых I_M и $I_{\text{св}}$.

Оценка инерционности перемещения разряда производилась при различных токах электромагнита для четырех давлений в лазере. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, время перемещения разряда CO_2 -лазера под действием поперечного магнитного поля [мс] падает с ростом тока и с уменьшением давления. Это соответствует физической природе явлений: с уменьшением давления увеличивается подвижность заряженных частиц и растет

их скорость, с увеличением тока электромагнита растет сила Лоренца, воздействующая на разряд, что также приводит к уменьшению времени перемещения газового разряда.

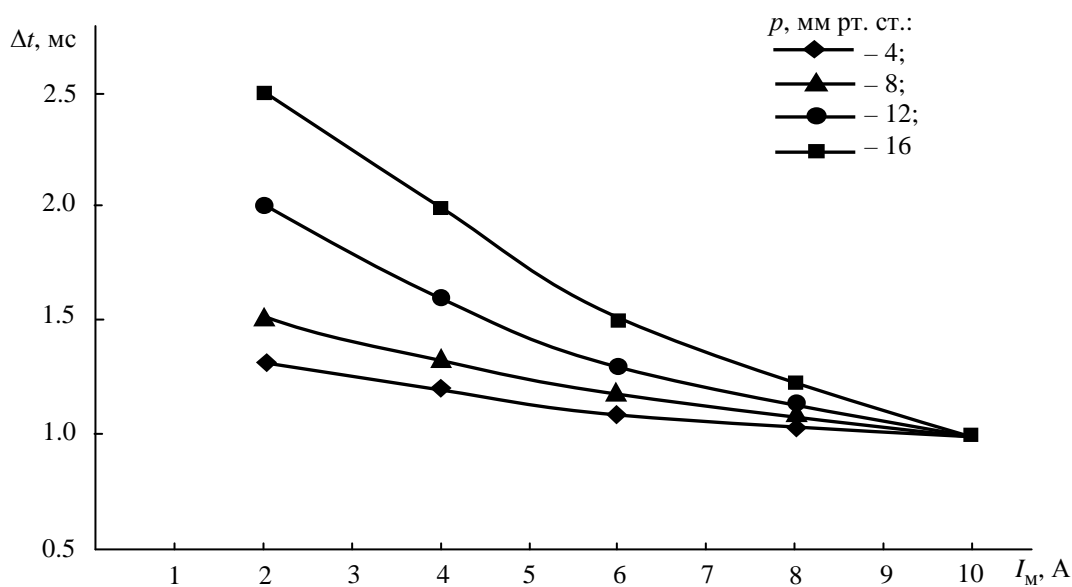


Рис. 3

Таким образом, с увеличением тока электромагнита, а соответственно, и индукции магнитного поля инерционность перемещения разряда CO₂-лазера стремится к постоянной величине и составляет порядка 1 мс. Для уменьшения инерционности перемещения разряда необходимо произвести оптимизацию конструкции лазера и схемы управления током электромагнита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаймарданов Р. Лазер CO₂: гибкое, надежное и испытанное средство // Фотоника. 2011. Т. 28, № 4. С. 8–12.
2. Елохин В. А., Жданов И. Г. Методы модуляции излучения CO₂-лазеров // Научное приборостроение. 2003. Т. 13, № 3. С. 46–51.
3. Фогельсон Т. Б., Бреусова Л. Н., Вагин Л. Н. Импульсные водородные тиратроны. М.: Сов. радио, 1974. 117 с.
4. Марцынюков С. А., Черниговский В. В. Исследование инерционности перемещения плазмы под действием поперечного магнитного поля // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2004. № 2. С. 27–31.

S. A. Martsinukov

RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC CONTROL INFLUENCE ON DISCHARGE EXISTENCE CONDITIONS IN THE LASER ON CARBON DIOXIDE

The method of electromagnetic control of gas discharge in the CO₂-laser is offered. Experiments on research of inertance of discharge movement under the influence of a cross magnetic field are made.

Electromagnetic control of power, gas discharge, inertance of discharge

УДК 537.226.4:544

Н. В. Мухин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ЦИРКОНАТА-ТИТАНАТА СВИНЦА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ НА ВОЗДУХЕ

Предложена нестационарная модель, описывающая макроскопическую диффузию собственных дефектов и их локальные взаимодействия в нестехиометрических пленках цирконата-титаната свинца в процессе их температурной обработки с учетом материального контакта с парогазовой фазой. Рассчитаны зависимости состава пленок ЦТС от температуры и времени обработки. Показана возможность концентрационно-го пересыщения по свинцу в приповерхностном слое пленки.

Пленки цирконата-титаната свинца, высокотемпературный отжиг, отклонения от стехиометрии, квазихимические реакции, диффузия собственных дефектов

Сегнетоэлектрические пленки, обладающие спонтанной поляризацией, высокой диэлектрической проницаемостью, диэлектрической нелинейностью, пиро- и пьезоактивностью, создают условия для реализации на их основе широкого спектра приборов электроники и техники. Уникальные свойства сегнетоэлектрических пленок являются основой не только улучшения параметров существующих, но и создания принципиально новых устройств [1]. Наибольший практический интерес среди многообразия сегнетоэлектрических материалов представляют твердые растворы цирконата-титаната свинца (ЦТС) [2],