

Влияние импульсной наносекундной ионизации на характеристики электроразрядного CO₂-лазера

Л.М.Василяк, С.П.Ветчинин, П.Г.Кадиева, Д.Н.Поляков, В.Е.Фортов, А.В.Хотина

Исследована возможность повышения устойчивости электрического разряда, увеличения КПД и расширения динамического рабочего диапазона технологического CO₂-лазера с самостоятельным разрядом с помощью дополнительной ионизации высоковольтными наносекундными импульсами.

Ключевые слова: CO₂-лазер, импульсная ионизация, электрический разряд.

Импульсная предыонизация пучком быстрых электронов либо высоковольтными электрическими импульсами позволяет эффективно использовать несамостоятельный электрический разряд для накачки мощных быстропотоковых CO₂-лазеров [1–3]. При этом удается существенно повысить предельный энерговклад в разряд и расширить диапазон объемного горения разряда по току и напряжению. Представляет также интерес исследование влияния дополнительной ионизации на характеристики мощных CO₂-лазеров с самостоятельным электрическим разрядом при небольших энергозатратах на ее создание.

В настоящей работе исследовано влияние дополнительной ионизации, производимой высоковольтными наносекундными импульсами (амплитуда до 30 кВ, длительность по полуширине 50–150 нс и частота следования 1 кГц), на работу аналогичного описанному в [4] технологического CO₂-лазера с мощностью излучения до 1.5 кВт с самостоятельным поперечным электрическим разрядом и замкнутым циклом прокачки газа. Импульсы подавались на рабочие электроды лазера через разделительные емкости. Катодом служил медный стержень диаметром 1.4 см и длиной 80 см, анод был выполнен в виде пластины шириной 15 см и длиной 80 см, расстояние между катодом и анодом составляло 6 см. Измерялись электрические характеристики как комбинированного, так и самостоятельного разряда, выходная мощность и однородность лазерного излучения в зависимости от состава смеси при скорости прокачки газа 60 м/с.

При наложении наносекундных импульсов улучшается однородность свечения всего разрядного промежутка, что приводит к улучшению однородности лазерного излучения в схеме с неустойчивым резонатором. Дополнительная ионизация позволяет расширить диапазон горения тлеющего разряда и устойчиво работать как при малых, так и больших токах, а также избежать контракции при больших токах в схеме без балластных сопротивлений. Поскольку амплитуда высоковольтных им-

пульсов значительно выше пробойного напряжения, они расходуют свою энергию в основном на ионизацию среды, не нагревая ее. Наносекундный разряд происходит в разрядном промежутке, в котором предварительная ионизация создается стационарным разрядом, и проявляется в виде высокоскоростной волны ионизации [5].

Из рис.1 видно, что добавление импульсного разряда приводит к увеличению концентрации электронов и проводимости в разрядном промежутке. Как показано в работе [6] при численном исследовании нестационарных процессов в тлеющем разряде, это связано с изменением концентрации ионов в положительном столбе и с уменьшением скорости прилипания электронов после выключения импульсного электрического поля. Нехватка мало подвижных отрицательных ионов при резком уменьшении скорости прилипания приводит к замещению их электронами, движущимися от катода. Импульсная ионизация вызывает смещение приведенной напряженности поля в область более низких значений, чем те, которые реализуются в самостоятельном разряде (рис.1) и являются более оптимальными для накачки колебательных лазерных уровней. Все это приводит к увеличению КПД лазера (рис.2). В комбинированном разряде основная энергия, идущая на накачку лазерных уровней, вкладывается в рекомбинирующую плазму от источника постоянного тока. При этом при меньших энерговкладах реализуется большая выходная мощность, что и вызывает увеличение КПД лазера. Следует отметить, что для

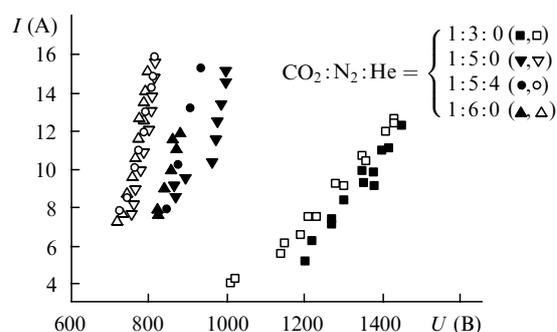


Рис.1. Вольт-амперные характеристики разряда для лазерных смесей CO₂-N₂-He разного состава при давлении молекулярной смеси 8 Тор; светлые точки соответствуют комбинированному разряду, темные – самостоятельному.

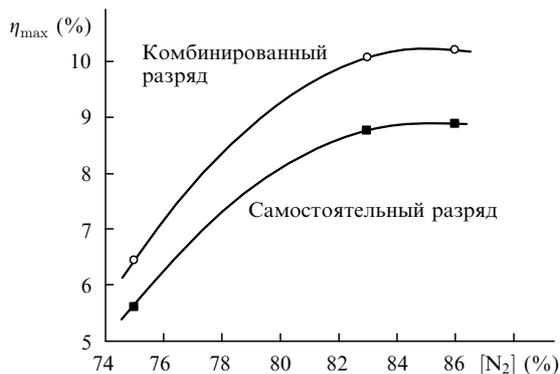


Рис.2. Зависимость максимального КПД лазера от содержания азота в молекулярной безгелиевой смеси при давлении 8 Тор.

питания постоянного разряда в наших экспериментах использовался источник постоянного тока без балластных сопротивлений, поэтому потери энергии в цепи источника питания были минимальными. Мощность, вкладываемая в разрядный промежуток от импульсного источника питания, рассчитывалась по зарядному напряжению и величине накопительной емкости. Она составляла 1–2.5% мощности самостоятельного разряда, если считать, что вся энергия, запасенная в конденсаторе, вкладывается в разряд.

На рис.2 экспериментальные точки соответствуют максимальным значениям КПД в зависимости от содержания азота в молекулярной смеси. Максимальное увеличение КПД получено при мощности лазерного излучения 0.3–0.8 кВт. В этом случае с ростом относительного энерговклада в разряд от импульсного источника по отношению к энерговкладу от стационарного разряда КПД возрастает, и относительный прирост КПД достигает 55% (рис.3). Из рис.2, 3 видно, что в случае импульсной ионизации более выгодно использовать смеси с увеличенным содержанием азота. В самостоятельном разряде между импульсами также идет ионизация, чего не происходит в несамостоятельном разряде. Если в комбинированном несамостоятельном разряде частота следования импульсов низка, то существуют временные промежутки между импульсами, когда концентрация элект-

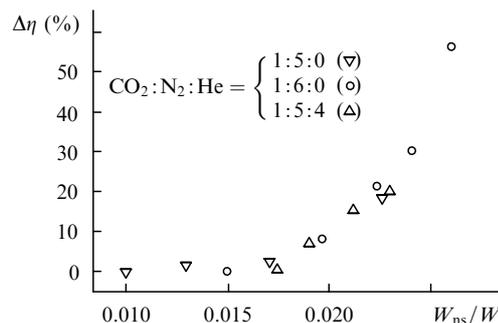


Рис.3. Зависимость относительного прироста КПД при накачке комбинированным разрядом от отношения доли мощности наносекундного источника W_{ns} к мощности самостоятельного разряда W для смесей CO_2-N_2-He разного состава.

ронов падает настолько, что инверсии среды не возникает [2, 3]. В нашем случае колебательное возбуждение между импульсами более эффективно поддерживается самостоятельным разрядом.

Таким образом, наложение коротких наносекундных импульсов на самостоятельный разряд является перспективным методом повышения эффективности накачки CO_2 -лазера с самостоятельным поперечным разрядом без конструктивной переделки последнего. Это позволяет повысить КПД лазера и работать без контракции разряда с простыми (не секционированными) электродами на безгелиевых смесях с высоким содержанием азота. При этом улучшаются рабочие характеристики лазера: увеличивается диапазон регулирования по току, упрощается поджиг разряда, повышаются стабильность, однородность и устойчивость разряда при больших токах.

1. Велихов Е.П., Голубев В.С., Пашкин С.В. *УФН*, **137**, 117 (1982).
2. Генералов Н.А., Зимаков В.П., Косынкин В.Д., Райзер Ю.П., Соловьев Н.Г. *Квантовая электроника*, **9**, 1549 (1982).
3. Наумов В.Г., Шашков В.И. *Квантовая электроника*, **4**, 2427 (1977).
4. Иванченко А.И., Крашенинников В.В., Пономарев А.Г. *Электротехника*, № 11, 37 (1987).
5. Василяк Л.М., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Филогин И.В. *УФН*, **164**, 263 (1994).
6. Бреев В.В., Двуреченский С.В., Пашкин С.В. *ТВТ*, **17**, 250 (1979).