

ИЗУЧЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В He-Ne
И CO₂ ЛАЗЕРАХ С ВЧ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

*Иманкулов Закиржон Иманкулович, к.ф.-
м.н., доцент, imankulovz@bk.ru*

*ЖАГУ имени Б.Осмонова, г.Жалал-Абад,
Кыргызская Республика*

*Ахмаджанов Тургунали Ахмаджанович, ф.-
м.и.к., доцент, t.akhmadjanov@nuu.uz
Национальный Университет Узбекистана
имени М.Улугбека, г. Ташкент, Республика
Узбекистан.*

Аннотация: В работе исследованы деградации газовой смеси в He-Ne и CO₂ лазерах с ВЧ возбуждением спектроскопическим методом. Нами создана комплексная установка, позволяющая одновременно проводить исследование деградации газовой смеси как оптическими, так и масс-спектрометрическими методами. Причем, анализатор и камера газового лазера сконструированы для совместного использования.

Ключевые слова: Деградация, оптический метод, анализатор, спектр, газовый смесь, хроматограф, масс-спектрометр.

STUDY OF GAS MIXTURE DEGRADATION IN HE-NE AND CO₂ LASERS WITH
MICROWAVE EXCITATION

*Imankulov Zakirjon Imankulovich, Associate
Professor, imankulovz@bk.ru*

*Akhmadjanov Turgunali Akhmadjanov, Associate
Professor, t.akhmadjanov@nuu.uz*

*JASU named after B.Osmonov, Jalal-Abad citi,
Kyrgyz Republik*

*National University of Uzbekistan named after M.
Ulugbek, Tashkent, Republic of Uzbekistan*

Abstract: In this work, the degradation of the gas mixture in He-Ne and CO₂ lasers with RF excitation by the spectroscopic method was studied. We have created a complex setup that allows us to simultaneously study the degradation of a gas mixture by both optical and mass spectrometric methods. Moreover, the analyzer and the gas laser chamber are designed for joint use.

Keywords: Degradation, optical method, analyzer, spectr, gas mixture, chromatograph, mass spectrometer.

ЖОГОРКУ ЖЫШТЫКТАГЫ РАЗРЯД МЕНЕН ДҮҮЛҮКТҮРҮЛГӨН He-Ne ЖАНА
CO₂ ЛАЗЕРЛЕРИНИН ГАЗДЫК АЛАРАШМАЛАРЫНДАГЫ ДЕГРАДАЦИЯ
КУБУЛУШУН УЙРӨНҮҮ

*Иманкулов Закиржон Иманкулович .ф.-м.и.к.,
доцент, imankulovz@bk.ru*

*Ахмаджанов Тургунали Ахмаджанович, ф.-
м.и.к., доцент, t.akhmadjanov@nuu.uz*

Б.Осмонов атындагы ЖАМУ,

Жалал-Абад ш., Кыргыз Республикасы.

*М.Улугбек атындагы Өзбекстан Улуттук
Университети, Ташкент ш. Өзбекстан
Республикасы*

Аннотация: Бул макалада жогорку жыштыктагы разряд менен дүүлүктүрүлгөн He-Ne жана CO₂ лазерлериндеги газ аралашмаларын деградация кубулушу уйрөнүлгөн. Бир убакыттын өзүндө лазерлердеги газ аралашмаларын деградация кубулушун изилдөөчү оптикалык жана масс-спектрометрикалык ыкмалар менен иштөөчү комплекстик курулма жасалды. Анализатор жана газ лазеринин камерасы бирге бир убакытта иштетүү үчүн жасалды.

Ачык сөздөр: Деградация, оптикалык ыкма, анализдөөчү, спектр, газдык аралашма, хроматограф, масс-спектрометр.

Для исследования деградации газовой смеси использовался спектроскопический метод, основанный на отношении интенсивностей свечения разряда линий 585,2 нм Ne и 587,2 нм He для He-Ne лазеров, работающих на ПСВЧР со стандартными трубками от лазера ЛГ-56. Наполнение разрядных трубок следующее: соотношение He:Ne=7:1, общее давление 2,4 мм рт.ст. (320 Па). В качестве спектрального прибора использовался спектрометр ДФС-12 с регистрирующим устройством на базе фотоумножителя ФЭУ-79. Для увеличения чувствительности всей установки дифракционные решетки спектрометра были перестроены со второго порядка на первый. Измерения заключались в периодической записи линий свечения неона 585,2 нм и гелия 587,6 нм в активных элементах. Для этого с помощью оптического жгута спонтанное излучения разряда лазеров направлялось на щель спектрометра, и производилась запись контуров одной линии неона и одной линии гелия. При непрерывной работе обоих лазеров в течение 7-8 ч. в сутки периодически (через каждый час) регистрировался спектр. Общее число часов наработки каждого из лазеров составило около 240 часов. Для большей достоверности вывода относительно старения газовой смеси в активных элементах было применено полиномиальное представление зависимости отношения интенсивности от времени, а именно

$$V = At^2 + Bt + C$$

и далее была произведена машинная обработка методом наименьших квадратов, определены коэффициенты разложения A, B, C и ошибки из определения ΔA, ΔB, ΔC. Анализ коэффициентов разложения показал, что коэффициенты квадратичного члена разложения не значимы, т.е. ошибка определения A многократно превосходит величину самого коэффициента A. Ошибка определения B сравнима с величиной самого коэффициента, следовательно, линейный член разложения тоже не значим.

Таким образом, результаты исследований показывают, что в течение 240 ч. работы He-Ne лазера с ПСВЧР заметного изменения состава газовой среды не наблюдалось.

Вопросу деградации смеси газовых лазеров уделяется большое внимание. Достаточно назвать работы Очкина, Трубачева, Мак-Артура и других [1-5]. Однако, в этих работах исследования проводились, как правило, одним каким-то методом [2-4], либо несколькими методами, но в различных условиях [1]. В то же время всем ясно, что только комплексное исследование в одинаковых условиях дает полную картину о столь сложном объекте, как плазма газового разряда в лазерной трубке. Из-за чего не проводились комплексные исследования. Причина на наш взгляд состоит в том, что бралась газоразрядная трубка от стандартного лазера и приспособливалась к готовому аналитическому прибору. Хорошо, если прибор оптический и хуже, если это газовый хроматограф или масс-спектрометр. При газовой хроматографии вообще нельзя исследовать отпаянные лазеры. Что касается масс-спектрометрического метода, то самая большая трудность заключается в том, что необходимо отобрать пробу из области высокого (10-100 мм рт.ст.(1,3-1,33 кПа)) давления из зоны разряда и передать ее без потерь и искажений в область низкого (10⁻⁵ и ниже тор) давления в зону анализатора. В вакуумной технике для этих целей используются различные натекатели. Но при этом

частица поступает в зону анализатора после многократных столкновений со стенками трубопровода. Это может приводить к дополнительной диссоциации, особенно если речь идет о возбужденных частицах. Как раз такой метод использован в [2]. Более предпочтителен метод отбора через капилляры или диафрагмы, однако в [1] он использован для проточных систем, а при замкнутом объеме отбор опять производился через натекатели, что свело на нет все преимущества прямого пролета частиц. В связи с вышесказанным нами создана комплексная установка, позволяющая одновременно проводить исследование деградации газовой смеси как оптическими, так и масс-спектрометрическими методами. Причем, анализатор и камера газового лазера сконструированы для совместного использования. На наш взгляд это позволило избежать тех недостатков, о которых говорилось выше.

Установка состоит из импульсного времяпролетного масс-спектрометра, узла стыковки разрядного и аналитического объема, металлокерамического лазера, монохроматора, системы напуска газовой смеси и системы вакуумной откачки. Стыковочный узел представляет собой двухсторонний вакуумный вентиль, позволяющий в открытом состоянии осуществлять прямой пролет анализируемых веществ из области плазмы в масс-анализатор. При необходимости нижнюю часть стыковочного узла можно использовать для дифференциальной откачки смеси. Соединение узла с масс-анализатором осуществлено через фланцевое соединение с алюминиевой прокладкой. В этой прокладке сделано отверстие диаметром 10-15 мкм, через которое осуществляется отбор газа, поступающего непосредственно из разрядной области через керамическую трубку.

Ранее [6] подобная конструкция была использована для выяснения вопроса об изменении смеси в керамической трубке с внешними электродами. В дальнейшем была разработана конструкция лазера с внутренними алюминиевыми электродами. Причем были созданы две макетные установки с различными внешними корпусами: корпус из дюралюминия и из нержавеющей стали. На установке первого типа как масс-спектрометрическим, так и оптическим методом было обнаружено появление новых составляющих смеси, образующихся в результате химических реакций. Этими составляющими являются молекулярный водород и атомарный кислород, концентрация которых непрерывно возрастала со временем горения разряда.

Необходимо отметить, что в данном макете были использованы прокладки из силиконовой резины. Было обнаружено, что даже сорт резины влияет на фоновый масс-спектр, а следовательно и на состав смеси. В связи с этим во втором макете все фланцевые соединения были сделаны с использованием прокладок из алюминия или из отожженной меди. Это позволило избавиться от многих нежелательных компонент смеси и начать исследование деградации смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}:\text{Xe} = 6:3,75:25:2$. Ниже приведенные результаты относятся только к лазеру с корпусом из нержавеющей стали.

В данной работе проведен поиск корреляции между изменениями интенсивности линий спонтанного излучения в видимой области спектра и ее химическим составом. Для этого вместо зеркал на торцах газоразрядного объема поставлены фланцы с оптическими стеклами. Производилось сопоставление изменения масс-спектра и оптического спектра в процессе горения ВЧ разряда. Последний регистрировался с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-87. В данной работе нами получен график изменения амплитуды пиков ионов с $m/e = 44$ и 28 а.е.м. (атомных единиц массы). Эти пики соответствуют двуокиси углерода (44 а.е.м.) и сумме молекулярного азота и СО (28 а.е.м.) Для разделения последних двух веществ необходим масс-анализатор высокого разрешения ($3000-4000$). Настоящий вариант нашего прибора обладает разрешением ~ 50 по основанию пиков ионов. Поэтому для уменьшения вклада ионов CO^+ мы использовали энергии ионизирующих электронов 20 и менее эВ. Видно, что с течением времени уменьшается

концентрация частиц CO_2 и возрастает пик ионов CO^+ и N_2^+ . Мы связываем это с увеличением концентрации молекул CO_2 из-за разложения двуокиси кислорода в разряде. Необходимо отметить, что амплитуды всех остальных ионных пиков в масс-спектре либо оставались постоянными (пики ионов Xe^+), либо незначительно уменьшались (C_{12}^+ , N_{14}^+ , OH^+ , H_2O^+).

Известно, что в оптическом спектре смеси азота и углекислого газа наблюдаются полосы, соответствующие N_2 , CO и CN [7]. Причем, молекулы CO возникают за счет диссоциации молекул CO_2 , полосы CN образуют при взаимодействии CO и N_2 . Поэтому можно было ожидать появления этих линий и в спектре смеси, использованной нами. Однако, длин волн, соответствующих CN (3850-3989 Å) в оптическом спектре не наблюдалось. В масс-спектре также не отмечено появления пика ионов с $m/e = 26$ а.е.м. Отсюда следует, что при данных давлениях смеси (10 мм рт.ст.(1,33 кПа)) данная реакция не протекает. Что касается полос, соответствующих N_2 и CO , то такие линии действительно наблюдаются в оптическом спектре, но их интенсивность практически не меняется во время работы. Отсюда можно сделать вывод, что при данном соотношении компонент смеси анализ состава предпочтительно проводить масс-спектрометрическим методом.

Литература

1. Очкин В.Н./Труды ФИАН СССР. -1974. -т.78. -с.1-59.
2. Трубачев Э.А./Труды ФИАН СССР. -1977. -т.102. -с.3-57.
3. Mc Artur B.A., Tulip J./ Rev.Sci.Instrum. -1988. -v.59.-N5.-p.712- 715.
4. Novak M., Laska L./Acta Phys.Slov. -1989. -v.39. -p.108-113.
5. Iehisa N., Fukaya K./J.Appl.Phys. -1986. -v.59. -p.317-323.
6. Айвазова А.А., Мириноятов М.М., Соловьев И.А., Халиков Ш.М. Исследование деградации газовой смеси в He-Ne лазере с ПСВЧР и в металлокерамическом волноводном CO_2 лазере с ПСВЧР//Сб. науч.тр. ТашГУ "Нелинейная оптика и квант. электроника" -1991. -с.4-9.
7. Бочков О.П., Шрейдер Е.Я. Спектральный анализ газовых смесей. –М:ГИИТТ, 1955.- 123с.
8. Иманкулов З.И., Колебания электронов в поперечном СВЧ разряде.// Вестник ЖАГУ, № 1(36) , 2018, стр.39-43