

ПРИМЕНЕНИЕ ДИОДНЫХ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ В ГАЗОВЫХ СМЕСЯХ КОМПОНЕНТ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

И. И. Засавицкий, Ю. В. Косичкин, А. И. Надеждинский,
Е. В. Степанов, А. Ю. Тищенко, А. П. Шотов

УДК 621.375.826:543.42

С помощью диодного лазера реализован метод спектрального анализа, в котором детектирование газа происходит по совокупности спектральных линий. Это позволило при сохранении быстродействия $\sim 0,5$ с почти на два порядка увеличить чувствительность анализатора по сравнению с детектированием по отдельной линии.

1. Применение диодных лазеров средней ИК области в спектральном газоанализе показало возможность анализа с их помощью газовых смесей, содержащих весьма малые количества примесей /1-7/. При традиционном подходе анализ производится по одной из линий поглощения молекулы детектируемой примеси /1-5/. Дополнительный выигрыш в чувствительности газоанализатора может быть получен при использовании информации, содержащейся во всем регистрируемом спектре /6-7/. В этих работах регистрировались достаточно протяженные спектральные интервалы, содержащие несколько линий поглощения, а затем производилась обработка полученных спектров на ЭВМ.

2. Настоящая работа производилась на диодном лазерном спектрометре /8/, приспособленном для решения задач газоанализа. Использовались лазеры на основе полупроводников $A^{IV}B^{VI}$. Монтаж лазеров позволял использовать для работы излучение, выходящее из двух противоположных граней лазерного кристалла, что дало возможность осуществить одновременное функционирование двух каналов спектрометра - реперного и аналитического. Оптические

схемы каналов были практически идентичными. Лазерное излучение коллимировалось в параллельный пучок, а затем фокусировалось на фотоприемник. В оптический тракт помещались газовые киветы.

Анализировалось содержание SF_2Cl_2 в газовых смесях SF_2Cl_2 и воздуха. Для анализа использовалась полоса поглощения SF_2Cl_2 , располагающаяся в области $915-930 \text{ см}^{-1} / 2,3/$. В реперное плечо помещалась кивета K_1 длиной 10 см, которая заполнялась реперным газом SF_2Cl_2 до давления $0,1 - 0,3$ торр. Исследуемая смесь запускалась в кивету K_2 длиной 50 см, установленную в аналитический канал.

Лазер работал в импульсно-периодическом режиме с длительностью импульса тока накачки $1-7$ мс и скважностью $1,1-5$. В течение токового импульса происходил разогрев лазера, что приводило к перестройке его частоты. Сигнал фотоприемников реперного и аналитического каналов можно представить в виде:

$$u_i(t) = u_{o1}(t) \exp[-\alpha_1(\nu(t)) p_1 L_1], \quad (1)$$

где $u_{o1}(t)$ - временная зависимость сигнала в отсутствие газа, $\nu(t)$ описывает перестройку частоты лазера во времени, $\alpha_1(\nu)$ - спектр коэффициента поглощения исследуемого газа, p_1 - парциальное давление газа, L_1 - длина киветы, индексы $i = 1, 2$ относятся, соответственно, к реперному и аналитическому каналам.

Подбором режима работы лазера - температуры, амплитуды, длительности, скважности и формы импульса тока накачки - можно добиться того, чтобы диапазон перестройки частоты лазера в течение импульса перекрывал значительную часть спектра поглощения газа. В этом случае $\alpha(t)$ представляет суперпозицию значительного количества ($\sim 10^3$) линий.

3. Детектирование содержания SF_2Cl_2 в исследуемой смеси производилось сразу практически по всем линиям поглощения, попадающим в диапазон перестройки лазера. Это было реализовано следующим образом. Сигнал реперного канала u_1 представлял собой последовательность резких пиков, соответствующих линиям поглощения реперного газа, и использовался для запуска стробоскопического интегратора (СИ). Запуск СИ происходил в моменты времени t_k ($k = 1, 2, \dots, N$; N - число запусков в течение импульса тока накачки), соответствующие наиболее сильным линиям поглощения.

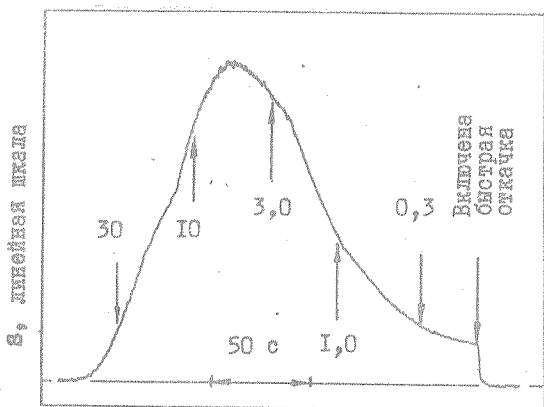
Сигнал аналитического канала обычно характеризуется малым поглощением ($x_p L \ll 1$). После прохождения дифференцирующей цепи, этот сигнал усиливался и подавался на входы СИ, который производил измерения в моменты времени $t_k + \Delta t_1$ и $t_k + \Delta t_2$ (Δt_1 и Δt_2 - временные задержки двух стробирующих импульсов относительно момента запуска), находил их разность и усреднял значение этой разности по запускам. Сигнал на выходе СИ можно представить в виде:

$$S = (p_2 L_2 / N) \sum_{k=1}^N [x_2(t_k + \Delta t_1) - x_2(t_k + \Delta t_2)] u_{02}(t_k) \equiv A p_2 L_2. \quad (2)$$

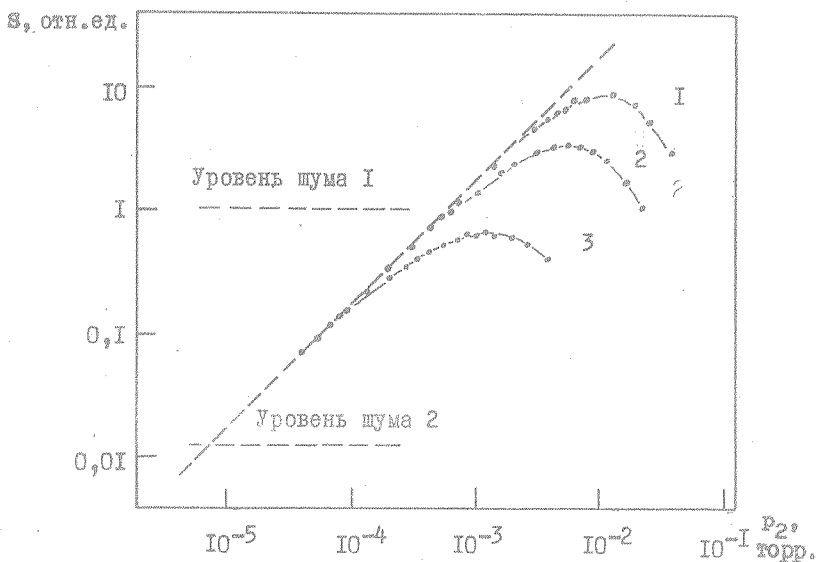
Δt_1 и Δt_2 выбирались из условия максимальности S , что соответствовало установлению одного из стробирующих импульсов в максимум поглощения, а другого на склон линии. Как следует из (2), S прямо пропорционально произведению парциального давления газа и длины кюветы. Коэффициент пропорциональности A может быть определен при измерениях калибровочных смесей.

На рис. 1 представлен результат регистрации содержания CF_2Cl_2 в смеси CF_2Cl_2 и воздуха в отношении 1:1000. Смесью заполнялась кювета K_2 до давления 100 торр. Измерение величины S производилось при медленной откачке кюветы, одновременно фиксировалось суммарное давление в ней. Зависимость S от парциального давления CF_2Cl_2 для смесей трех составов представлена на рис. 2. При малых суммарных давлениях наблюдается линейная зависимость S от парциального давления детектируемого газа, как это и следует из (2). При дальнейшем росте давления S проходит через максимум, а затем начинает падать. Причиной такого поведения является столкновительное уширение линий поглощения, что приводит к сглаживанию регистрируемого в аналитическом плече спектра.

Из рис. 2 видно, что без применения специальных мер в данных экспериментальных условиях может быть зарегистрировано наличие CF_2Cl_2 при его парциальном давлении около 10^{-3} торр. Данная величина определяется уровнем шумов, отмеченных цифрой 1 на рис. 2.



Р и с. 1. Пример регистрации газовой смеси SF_2Cl_2 и воздуха (1 : 1000) при ее медленной откачке. Стрелки указывают суммарное давление смеси в торр



Р и с. 2. Зависимость S от парциального давления SF_2Cl_2 для смесей SF_2Cl_2 и воздуха трех составов 1 : 100 (1), 1 : 1000 (2), 1 : 7600 (3)

Использование частотных фильтров, запуска СИ по линиям реперного газа и усреднение по значительному количеству запусков $\sim 10^4$ позволило улучшить чувствительность газоанализатора почти на два порядка. Достигнутый при этом уровень шума отмечен цифрой 2 на рис. 2. Быстродействие системы находилось на уровне 0,5 с.

Таким образом, предложенный метод позволяет регистрировать содержание малых концентраций примесей в газовых смесях, используя при каждом импульсе тока накачки информацию, содержащуюся в значительном количестве наиболее сильных линий поглощения исследуемого газа. Последнее обстоятельство позволяет добиться примерно стократного увеличения отношения сигнал/шум по сравнению с традиционными методами регистрации по одной линии, сохраняя при этом достаточно высокое быстродействие системы.

Поступила в редакцию
28 марта 1983 г.

Л и т е р а т у р а

1. J. Reid et al., Appl. Opt., 17, 300 (1978); Opt. Eng., 17, 56 (1978).
2. D. E. Jennings, Geophys. Res. Lett., 5, 241 (1978).
3. F. Capellani, G. Restelli, G. Melandrone, Infrared Phys., 19, 195 (1979).
4. И. И. Засавицкий и др., Тезисы VI Всесоюзного симпозиума по молекулярной спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения, Томск, 1982 г., ч. 2, с. 149.
5. А. Д. Бритов и др., Тезисы XI Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике, Ереван, 1982 г., ч. 2, с. 851.
6. H. Sano et al., Jap. J. Appl. Phys., 20, 2145 (1981).
7. E. Max, S. T. Eng, Opt. Quant. Electr., 11, 97 (1979).
8. Ю. В. Косичкин, А. И. Надеждинский, Тезисы XI Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике, Ереван, 1982 г., ч. 2, с. 824.