

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ПРИБОРЫ и ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

1

МОСКВА · 1965

НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ФОРМАЛЬДЕГИДЕ

А. Ф. КРУПНОВ, В. А. СКВОРЦОВ

Научно-исследовательский радиофизический институт при ГГУ

(Получено 19 декабря 1963 г.)

Молекулярный генератор 4-мм диапазона на переходе $1_{01} - 0_{00}$ молекулы формальдегида CH_2O благодаря отсутствию тонкой структуры линии и наличию максимума пик-энергии верхнего уровня может представлять интерес с точки зрения получения сигнала повышенной стабильности частоты [1, 2]. Характеристики генератора даны в работах [2, 3]. Ниже приводятся некоторые результаты экспериментального исследования молекулярного генератора на формальдегиде как с резонатором с типом колебания E_{010} , так и с резонатором Фабри — Перо [4, 5].

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРА ВОЗБУЖДЕНИЯ

При создании молекулярного генератора важнейшим является вопрос получения достаточного числа активных молекул. Весьма удобно иметь возможность численно оценивать улучшение, вносимое тем или иным изменением схемы или режима работы лазера. Для этой цели нами использовалась методика постоянного контроля величины параметра возбуждения η . При наблюдении линии излучения в качестве сигнала использовалась девятая гармоника клистрона, стабилизированного по кварцевому генератору схемой фазовой автоматической постройки (ф. а. п.). Кварцевый генератор модулировался по частоте с частотой модуляции 50 гц и относительной девиацией $\Delta f/f \sim 10^{-6}$ для наблюдения спектральной линии. Кроме того, на отражатель клистрона подавалось напряжение с частотой 50 гц, приводившие к периодическому срыву стабилизации схемы ф. а. п. Частота клистрона при этом уводилась скачком достаточно далеко, что было эквивалентно периодическому выключению сигнала. При этом на экране осциллографа вместе со спектральной линией появлялась «ступенька», показывающая величину сигнала. Таким образом можно было постоянно контролировать коэффициент усиления невозбужденного лазера K , т. е. величину η , связанную с K , как $\eta = 1 - 1/K$. Величина параметра возбуждения пропорциональна числу активных молекул. Это позволило

производить на недовозбужденном лазере численную оценку зависимости числа активных молекул от различных факторов.

РАБОЧЕЕ ВЕЩЕСТВО И ИСТОЧНИК МОЛЕКУЛЯРНОГО ПУЧКА

Для получения газообразного формальдегида вначале использовался параформ [6, 7]; подогревание колбы с параформом на водяной бане (100°C) давало достаточно интенсивный и стабильный пучок. Недостатком параформа явилось неполное улетучивание намерзавшего на дьюары формальдегида при их размораживании: на дьюарах оставались полимерные пленки, загрязнявшие установку. Впоследствии был применен намного более чистый полимер из класса E_U — полиоксиметиленов [8] — полиформ. Для его разложения нужна более высокая температура, что заставило отказаться от водяной бани. Применение полиформа почти совершенно устранило загрязнение установки и сделало возможным многократные повторные запуски без чистки вымораживаемых деталей. Следует отметить, что оба полимера давали одинаковый параметр возбуждения, различаясь только степенью загрязнения установки.

Подогреваемая колба с полимером непосредственно соединялась с источником пучка, представлявшим собой небольшую камеру с отверстием 0,6 мм. Для стабилизации давления паров формальдегида можно применить, например, картезианский регулятор [9]. Источник отстоял от сортирующей системы на 15 мм.

¹ Условие $\eta \geq 1$ определяет режим самовозбуждения.

и выигрыш ~ 3 ; измеренное по параметру возбуждения отношение было несколько более 2. Однако из этого не следует, что в реальном генераторе вышеописанная система может быть заменена двумя квадрупольными системами с двумя источниками пучка. Как выяснилось, пучки мешают друг другу. В таблице приведена величина параметра возбуждения η при различном числе n пучков, фокусировавшихся в резонатор обычными квадрупольными системами.

n	1	2	3	6
η	0,5	0,75	0,9	0,5

Это обстоятельство явилось одной из причин, заставивших применить описанную выше сортирующую систему с лучшим использованием пучка.

Электроды описываемой системы служили проволоочки $\phi 0,15$ мм, помещенные в стеклянные трубки с наружным $\phi 0,4$ и длиной 40 мм (рис. 1). Такие трубочки достаточно жестки и выполняли роль опоры для проволочек. Конец трубки без проволочки служил изолятором. Трубочки вытягивались на горелке из более толстых ($5 \div 6$ мм) и подбирались с допуском 0,02 мм. При сборке системы трубочки наклеивались концами на направляющие стержни с выфрезерованными пазами. Затем в трубочки продевались проволочки, к одному концу которых подводилось напряжение. Второй конец проволочки не доходил до конца трубки на ~ 3 мм, что обеспечивало достаточную изоляцию. Применение таких покрытых стеклом электродов резко улучшило пробивные свойства системы: при зазоре 0,8 мм не покрытые стеклом прутки пробивались при $5 \div 6$ кВ, а покрытые — при 15 кВ. Расстояние между центрами соседних электродов было 1,2 мм, расстояние между плоскостями 2 мм, общая длина сортирующей системы ~ 45 мм. Такая сортирующая система помимо хороших пробивных свойств еще весьма «прозрачна» для рассеивающихся молекул.

При работе сортирующей системы выяснилось, что пробой происходит в основном вдоль по капилляру, в котором находится проволочка; пробой «поперек» между соседними электродами редки. Поэтому был испытан вариант системы, отличавшийся тем,

что после помещения проволочки в трубку конец трубки с проволочкой оплавлялся на горелке. При этом на конце проволочки получалась круглая медная «капелька», покрытая сверху слоем стекла. Направляющие стержни при этом служили только для сборки системы; электроды скреплялись поперечными стеклянными трубочками, приклеенными цапоновым лаком. Этот вариант системы выдерживал при том же зазоре до 20 кВ.

РЕЗОНАТОР ФАБРИ — ПЕРО

Резонатор состоял из двух плоских параллельных латунных зеркал $\phi 6,5$ см, полированных с точностью ~ 1 мк. Два волновода связи проходили сквозь одно из зеркал и открывались внутрь резонатора симметрично относительно центра зеркала; расстояние между ними равнялось радиусу зеркала. Поле E в волноводах было направлено по соединяющей их линии.

Описание методики и результатов исследования резонатора Фабри — Перо, примененного в молекулярном генераторе на формальдегиде, приводится в [5]. Для предварительных исследований требовался резонатор, в котором можно было бы легко менять угол между зеркалами. Требовалось также плавно перемещать зеркала на расстояние порядка нескольких длин волн без нарушения их параллельности. Оказалось весьма простым и удобным использовать готовый механизм перемещения микроскопа, укрепив одно из зеркал на переделанный предметный столик с возможностью регулировки по углу, другое — к тубусу. Механизм грубого перемещения использовался для значительных перемещений зеркал, а кремальера давала возможность плавной и точной настройки резонатора. С таким резонатором и были проведены исследования структуры поля с. в. ч. и формы линий на различных типах колебаний, а также величины параметра возбуждения на различных типах колебаний и при различных расстояниях между зеркалами ($\lambda/2$ и λ) [5].

Исследования позволили настроить на нужный тип колебания второй, намного более простой резонатор. Второй резонатор состоял из двух зеркал того же диаметра и с той же связью, как и у первого, причем между зеркалами находились прокладки из вакуумной резины; зеркала стягивались тремя винтами МЗ, которыми и производилась

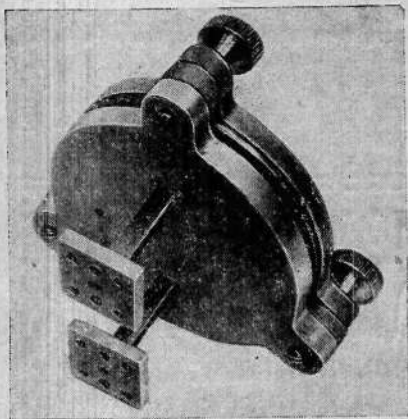


Рис. 2. Резонатор Фабри — Перо

грубая настройка резонатора (рис. 2). Точная настройка достигалась надавливанием на одно из зеркал. Именно с таким резонатором и был запущен молекулярный генератор [4]. Разумеется, в случае применения его в качестве стандарта частоты прокладки должны быть заменены кварцевыми.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПЕРЕХОДА $1_{01}-0_{00}$

С помощью сигнала, частота которого стабилизирована по кварцевому генератору, предварительно определялась частота перехода $1_{01}-0_{00}$. Для этого частота сигнала регулировалась до совпадения с частотой спектральной линии и значение частоты опорного кварцевого генератора измерялось прибором ЧК 3-4. Для получения частоты перехода значение частоты кварцевого генератора следовало умножить на 6966. Частота перехода оказалась равной $72838,0 \text{ Мгц}$ с относительной точностью $\pm 2 \cdot 10^{-6}$, что согласуется с результатами [12].

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЯ ЛИНИИ $5_{14}-5_{15}$

Исследовалась также линия $5_{14}-5_{15}$ формальдегида с частотой 72409 Мгц . Частота вспомогательного сигнального клистрона, стабилизированного по кварцевому генератору, не могла быть перестроена в таких пределах. Для подачи сигнала была применена простая схема, не требующая вспомогательного клистрона; по существу она подобна схеме [6]. Часть мощности гетеродинного клистрона (стабилизированного

по объемному резонатору) отбиралась направленным ответвителем и подавалась на отдельный умножитель (напомним, что гетеродинный клистрон работал на длине волны 8 мм , и гетеродинная мощность на длине волны 4 мм получалась умножением частоты). На этот же отдельный умножитель подавалось колебание генератора с частотой, равной промежуточной частоте 64 Мгц супергетеродинного приемника. При этом на выходе умножителя получались спектральные компоненты с частотами $f_{\text{гет}} \pm f_{\text{пр}}$. Одна из них и использовалась в качестве просвечивающего резонатора мазера сигнала. Другая компонента и центральная частота отсеивались резонатором мазера и не попадали на приемник, не увеличивая таким образом уровня шума. Качение сигнала могло осуществляться как за счет частотной модуляции гетеродинного клистрона, так и за счет частотной модуляции вспомогательного генератора. Ответвление мощности в 8 мм тракте уменьшало возможность прохождения в приемник паразитного сигнала по каналу гетеродина. Эта система давала возможность получать стабильный сигнал в широком диапазоне частот; нужно было только перестраивать механически клистрон и объемный резонатор (волномер). Такая схема позволяет сузить полосу у. п. ч. приемника, не опасаясь «сползания» сигнала на скат у. п. ч. Результаты исследования линии $5_{14}-5_{15}$ приведены в [2]. Авторы выражают благодарность А. М. Кислицыну и Н. Ф. Шербакову за изготовление резонаторов Фабри — Перо, В. Д. Калентьеву за участие в изготовлении сортирующих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, Изв. выпш. уч. зав., Радиофизика, 1962, 5, 820.
2. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, Ж. эксперим. и теор. физ., 1963, 45, 101.
3. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, Изв. выпш. уч. зав., Радиофизика, 1963, 6, 513.
4. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, Ж. Эксперим. и теор. физ., 1963, 45, 2080.
5. А. Ф. Крупнов, В. А. Скворцов, Ж. Эксперим. и теор. физ., 1964, 47, 1605.
6. Н. Такума, Т. Шимизу, К. Шимода, J. Phys. Soc. Japan, 1959, 14, 1595.
7. P. Thaddeus, A. Javan, L. Krisher, H. Lescar, Symposium on Quantum Electronics, N. Y., 1960, Columbia University Press.
8. А. В. Налбандян, И. С. Ениколопьян, Формальдегид — материал для пластмасс, 1959, Изд-во АН СССР.

9. Г. К. Уайт, Экспериментальная техника в физике низких температур, 1964, Физматгиз.
10. Г. Герцберг, Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул, 1949, Изд-во иностр. лит.
11. А. Ф. Крупнов, Изв. высш. уч. зав., Радиофизика, 1959, 2, 658.
12. R. B. Lawrance, M. W. P. Strandberg, Phys. Rev., 1951, 83, 363.