

РАСШИРЕНИЕ ДИАПАЗОНА МИКРОВОЛНОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДО 1,5 ТГц

М.Ю.Третьяков, А.Ф.Крупнов, С.А.Волохов

*Институт прикладной физики РАН
603600 Нижний Новгород, Россия*

Поступила в редакцию 15 декабря 1994 г.

Расширение частотного диапазона микроволновой спектроскопии до 1,5 ТГц достигнуто путем умножения частоты субмиллиметровой лампы обратной волны (ЛОВ) диапазона 300 ГГц вплоть до пятой гармоники с помощью разработанного умножителя частоты с плоскостным диодом Шоттки. Спектроскопическая ячейка с акустическим детектором использовалась для селекции и детектирования гармоник путем наблюдения спектральных линий газов. Линии SO_2 в диапазоне 541–1524 ГГц наблюдались на второй, третьей, четвертой и пятой гармониках основной частоты ЛОВ. Указаны пути дальнейшего значительного расширения диапазона микроволновой спектроскопии.

Расширение частотного диапазона представляет одно из основных направлений развития микроволновой спектроскопии. Традиционным путем являлось умножение частоты источников излучения сантиметрового и миллиметрового диапазонов на нелинейном элементе – обычно точечном полупроводниковом диоде, начатое В.Горди (W.Gordy), продвинувшимся в 1954 г. в длинноволновую часть субмиллиметрового диапазона [1]. Применение первичных генераторов субмиллиметрового диапазона – лампы обратной волны (ЛОВ) типа [2] – для микроволновой спектроскопии позволило нам в 1973 г. превзойти верхний частотный предел микроволновых исследований с помощью генераторов гармоник, достигнув частоты 874 ГГц [3] по сравнению с 813 ГГц в работе [4]. В дальнейшем верхние частотные пределы продвинулись до 1100 ГГц при спектроскопии с субмиллиметровыми ЛОВ (см. например, [5]) и до 1036 ГГц при спектроскопии с умножением частоты миллиметровых источников излучения (см., например, [6]) и оставались неизменными более десяти лет.

В настоящей работе сообщается о расширении частотного диапазона микроволновой спектроскопии до 1 524 ГГц, достигнутом умножением частоты уже субмиллиметровой ЛОВ диапазона 300 ГГц. Излучение субмиллиметровой ЛОВ, частота которой была стабилизирована системой фазовой автоподстройки, направлялось по волноводу на разработанный нами умножитель частоты, за основу которого была взята конструкция смесителя на гармониках [7]. В умножителе использовался плоскостной диод Шоттки с емкостью 0,007 пФ и сопротивлением растекания 10 Ом. На диод подавалось регулируемое постоянное напряжение смещения.

Излучение с выхода умножителя, содержавшее мощность как на основной частоте ЛОВ, так и на ее гармониках, направлялось полупараболическим зеркалом в спектроскопическую ячейку, снабженную акустическим детектором, обычно использовавшуюся нами для спектроскопических исследований (методики см. в [5]).

Для наблюдения был выбран хорошо известный вращательный спектр молекулы SO_2 , давно использующийся как опорный [3]; имеются обширные расчет-

ные таблицы спектральных линий SO_2 вплоть до частот порядка нескольких терагерц, основанные на данных работы [8].

Линии, наблюдавшиеся на гармониках, имели на записи спектра меньшую ширину, благодаря более быстрому изменению частоты на гармониках по сравнению с основной частотой ЛОВ. Интенсивность линий, наблюдавшихся на гармониках, сильно зависела от напряжения смещения на диоде, определявшего положение рабочей точки на вольт-амперной характеристике диода; интенсивность линий, наблюдавшихся на основной частоте, напротив, видимым образом не зависела от напряжения смещения. Эти признаки вместе с совпадением измеренной и табличной частот линий с точностью $10^{-6} - 10^{-7}$ (в отн. ед.) и использовались для идентификации наблюдавшихся спектральных линий. Всего на второй, третьей, четвертой и пятой гармониках частоты ЛОВ наблюдалось и было идентифицировано более 30 спектральных линий, лишь несколько из которых приводятся здесь ввиду ограниченности объема статьи.

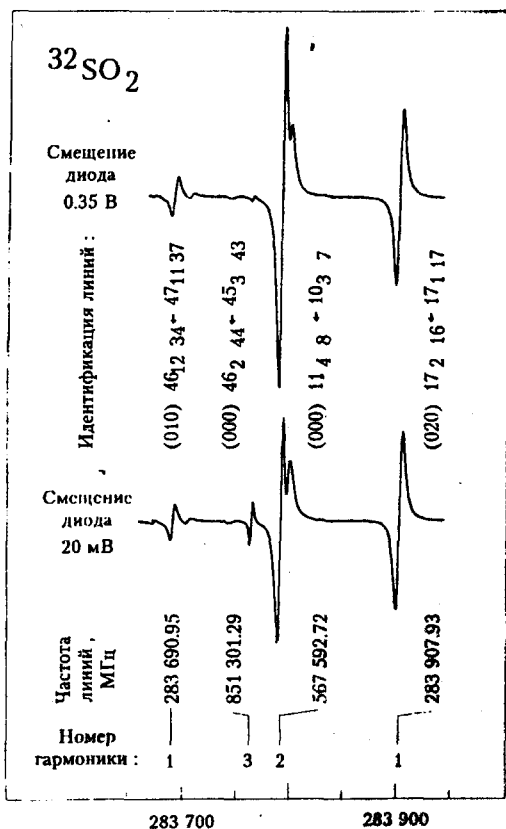


Рис.1

Рис.1. Записи участка спектра SO_2 ; видны различные зависимости интенсивности от напряжения смещения диода Шоттки и различная ширина линий, наблюдавшихся на первой, второй и третьей гармониках ЛОВ

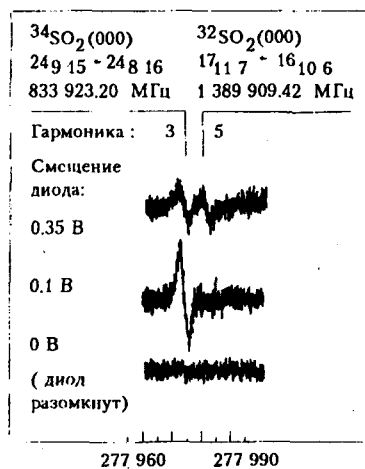


Рис.2

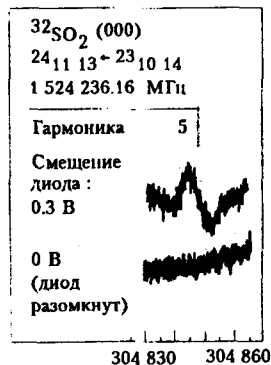


Рис.3

Рис.3. Запись линии SO_2 , наблюдавшейся на пятой гармонике ЛОВ, на наивысшей для микроволновой спектроскопии в настоящее время частоте 1 524 236,16 МГц

На рис.1–3 приведены записи участков спектра SO_2 ; частота ЛОВ в меггерцах (указана на шкале); напряжения смещения на диоде Шоттки, идентификация наблюдавшихся линий в обычных обозначениях асимметричного волчка [6] и их табличные частоты, а также номер гармоники, на которой наблюдалась линия (1 – основная частота ЛОВ).

Записи спектров рис. 1 и 2 демонстрируют указанные выше зависимости; на рис. 3 представлена линия, наблюдавшаяся на наивысшей для микроволновой спектроскопии в настоящее время частоте 1 524 236,16 МГц.

По нашему мнению, дальнейшее весьма значительное расширение диапазона микроволновой спектроскопии может быть достигнуто просто применением более чувствительного приемника вместе с описанной в настоящей работе комбинацией субмиллиметровой ЛОВ и умножителя частоты с диодом Шоттки, нежели имевшийся только в нашем распоряжении тепловой акустический приемник, работавший при комнатной температуре. В качестве такого приемника может быть применен, например, InSb-болومتر при температуре жидкого гелия, использовавшийся в [7], или еще более чувствительные болометры с охлаждением ^3He и/или с магнитной настройкой на область выше 1 ТГц.

Мы намерены провести эксперименты по умножению частоты с использованием в качестве первичного источника более высокочастотных ЛОВ. Мы намерены также исследовать возможности улучшения излучения гармоник производящим их плоскостным диодом Шоттки, например, путем снабжения диода парой антенн, образующих полуволновой вибратор для излучения желательной гармоники.

Таким образом, результаты настоящей работы по умножению частоты субмиллиметровой ЛОВ, в которой спектральные линии наблюдались на второй, третьей, четвертой и пятой гармониках ЛОВ, демонстрируют расширение диапазона микроволновой спектроскопии примерно в полтора раза по сравнению с существовавшим ранее, и указывают пути дальнейшего существенного расширения диапазона микроволновой спектроскопии.

Работа была выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 94-02-05424-а), Министерства науки и технической политики (МНТП) России в рамках Государственной программы фундаментальной метрологии, Немецкого исследовательского общества (DFG) и Международного научного фонда (грант R8I000), которым авторы выражают свою благодарность.

-
1. C.A.Burrus and W. Gordy, *Phys. Rev.* **93**, 897 (1954).
 2. М.Б.Голант, Р.Л.Виленкин, Е.А.Зюлина и др., ПТЭ N 4, 136 (1959); М.Б. Голант, З.Т. Алексенко, З.С. Короткова и др., ПТЭ N 3, 231, (1969).
 3. С.П.Белов, А.В.Буренин, Л.И.Герштейн и др., Письма в ЖЭТФ **18**, 285 (1973).
 4. P.Helminger, F.C.De Lucia, and W.Gordy, *Phys. Rev. Lett.* **25**, 1397, (1970).
 5. А.Ф.Крупнов, Вестник АН СССР N 7, 18, (1978); A.F.Krupnov, in *Modern Aspects of Microwave Spectroscopy*, G.W.Chantry, Ed, Academic Press, L, (1979), pp. 217 - 256.
 6. W.Gordy and R.L.Cook, *Microwave Molecular Spectra*, Interscience (Wiley), N.Y, (1984).
 7. G.Winnewisser, A.F.Krupnov, M.Yu.Tretyakov et al., *J. Mol. Spectrosc* **165**, 294 (1994).
 8. M.Carlotti, G.Di Lonardo, L.Fusina et al., *J. Mol. Spectrosc.* **106**, 235 (1984); W.J.Lafferty, G.T.Fraser, A.S.Pine et al., *J. Mol. Spectrosc.* **154**, 51 (1992).