

## **Взаимодействие молекулярного газа с фазо-диффузионным полем и когерентным сигналом**

**Л.С. Ревин<sup>1,2</sup>, В.Л.Вакс<sup>1,2</sup>, В.П.Кошелец<sup>3</sup>, Н. Wang<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физики микроструктур РАН (ИФМ РАН)*  
[rls@ipmras.ru](mailto:rls@ipmras.ru)

<sup>2</sup> *Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского (ННГУ)*

<sup>3</sup> *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова (ИРЭ РАН)*  
[valery@hitech.cplire.ru](mailto:valery@hitech.cplire.ru)

<sup>4</sup> *National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan*

*В работе проведено экспериментальное исследование взаимодействия молекулярного газа с фазо-диффузионным полем и когерентным сигналом. В качестве шумового сигнала использовалась BiSrCaCuO ВТСП меза-структура, в качестве когерентного сигнала использовалась лампа обратной волны. В результате эксперимента показано, что воздействие шумового сигнала на молекулярный газ аналогично воздействию когерентного сигнала.*

Взаимодействие молекулярного газа с когерентным полем приводит к наведению макроскопической поляризации молекул. По величине этого отклика с высокой точностью производится определение концентрации исследуемых компонентов газовой смеси.

Альтернативой может стать применение в качестве источника излучения генератора шумового сигнала, обладающего широким спектром. Ранее было предсказано [1], что шумовой сигнал фазо-диффузионного поля может наводить макроскопическую поляризацию в системе, причем по величине сравнимую с поляризацией в случае когерентного поля.

Целью данной работы было экспериментальное сравнение воздействия когерентного сигнала и фазо-диффузионного поля на молекулярный газ.

Блок-схема эксперимента представлена на Рис.1. В качестве источника фазо-диффузионного поля использовался купратный высокотемпературный сверхпроводник BiSrCaCuO (BSCCO) [2]. В таких структурах, выполненных в виде плоской одиночной структуры, в направлении перпендикулярном кристаллическим слоям естественным образом формируются джозефсоновские переходы [3]. По сути, такая структура представляет собой слоистый «пирог» из последовательной цепочки джозефсоновских генераторов, при определенных условиях находящихся в режиме синхронизации. Рабочая область частот BSCCO находится в диапазоне 500-600 ГГц, а ширина линии достигает 200 МГц [4]. Структура BSCCO, помещенная на линзу, находилась при гелиевых температурах, сигнал через окно криостата проходил сквозь ячейку с исследуемым газом.

В качестве источника когерентного сигнала использовалась лампа обратной волны (ЛОВ) 120 – 160 ГГц частотного диапазона с мощностью излучения 10 мВт. В качестве умножителя частоты использовалась полупроводниковая наноструктура так называемых сверхрешеток - тонких периодических структур с симметричной вольт-амперной характеристикой. В результате выходные частоты системы достигали 450 – 750 ГГц на 3, 4 и 5 гармонике сигнала ЛОВ. Для автоматического контроля частоты ЛОВ использовалась система фазовой автоподстройки частоты.

В качестве молекулярного газа использовались пары 10% раствора аммиака. Исследуемая смесь напускалась в предварительно откаченную кювету посредством

вакуумных кранов так, чтобы получить в объеме смесь необходимого давления. Эксперименты проводились на частоте поглощения аммиака 572.5 ГГц.

В качестве детектора использовался сверхпроводниковый интегральный приемник (СИП) [5-6], основанный на низкотемпературных джозефсоновских переходах. Стабилизированная по фазе частота гетеродина в СИПе выбиралась таким образом, чтобы обеспечить качественный прием сигнала в полосе 4 - 8 ГГц.

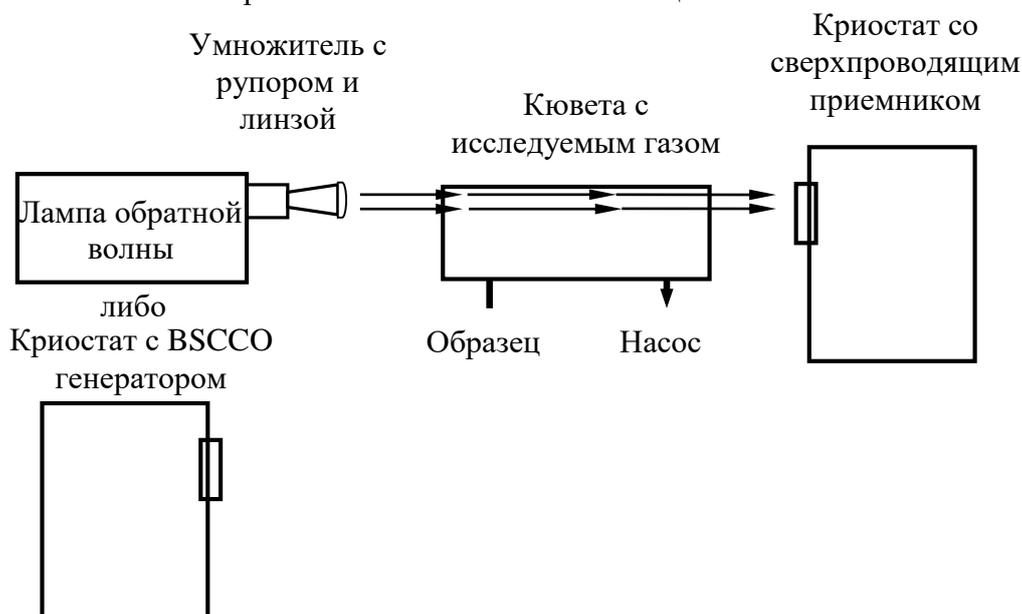


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Спектр сигнала BSCCO представлен на рисунке 2. Видно, что линия шумового генератора хорошо аппроксимируется лоренцевым профилем, то есть хорошо описывается моделью фазо-диффузионного поля. Линия сигнала ЛОВ (рисунок 3) имеет спектральные особенности, связанные с использованием частотной модуляции излучения с периодом модуляции, обеспечивающим нестационарное взаимодействие с линией поглощения аммиака. Анализ амплитудных флуктуаций обоих источников показал высокую стабильность генерации (отклонение от среднего значения меньше 0.1%).

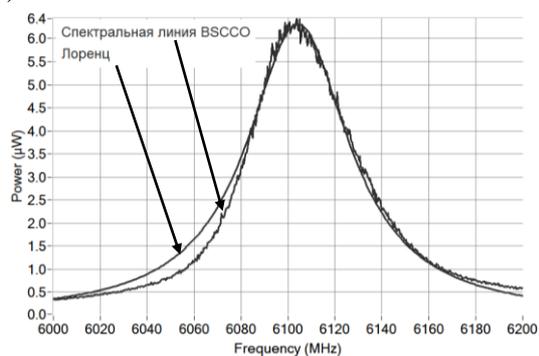


Рис. 2. Спектр сигнала BSCCO-генератора (частота ПЧ), аппроксимированный Лоренцевой кривой с шириной 50 МГц.

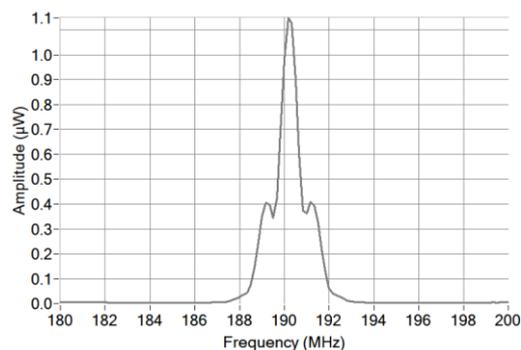


Рис. 3. Спектр сигнала ЛОВ, ширина линии 1.5 МГц.

Основное отличие регистрации линии аммиака в эксперименте при использовании одного и другого источника заключалось в следующем: в случае использования сигнала BSCCO (рисунок 4) с шириной линии излучения больше, чем линии поглощения газа, на спектральной характеристике регистрировалась просадка мощности (равная поглощенной в газовой среде мощности  $\Delta P$ ), в то время как для узкой линии ЛОВ (рисунок 5) необходимо было менять частоту излучения и регистрировать максимум прошедшей мощности от частоты.

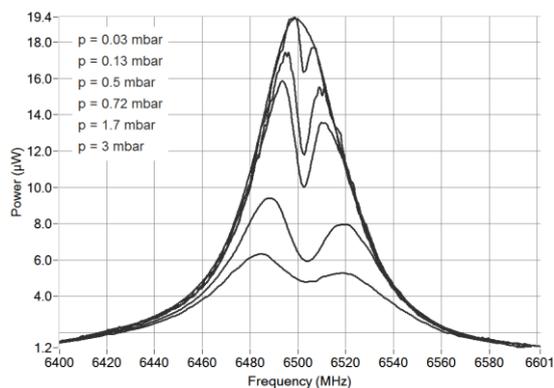


Рис. 4. Спектр сигнала BSCCO-генератора (частота ПЧ) на фоне линии поглощения аммиака при различном давлении.

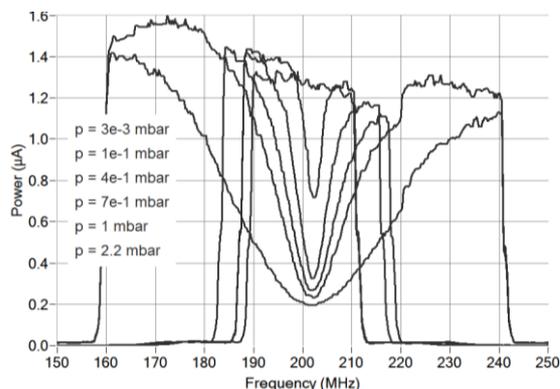


Рис. 5. Максимум спектральной линии ЛОВ на фоне линии поглощения аммиака при различном давлении.

В результате были вычислены линии поглощения аммиака  $\alpha$ :

$$\alpha = P_0 / \Delta P,$$

где  $P_0$  – падающая мощность, измеренная в отсутствии газовой среды,  $\Delta P$  – мощность, поглощенная в газовой среде. На рисунке 6 приведено сравнение полученного поглощения с помощью двух различных источников. На рисунке 7 представлена зависимость поглощения в максимуме от давления. В пределах погрешности измерения поглощение одинаковое для случая использования когерентного сигнала и фазо-диффузионного поля.

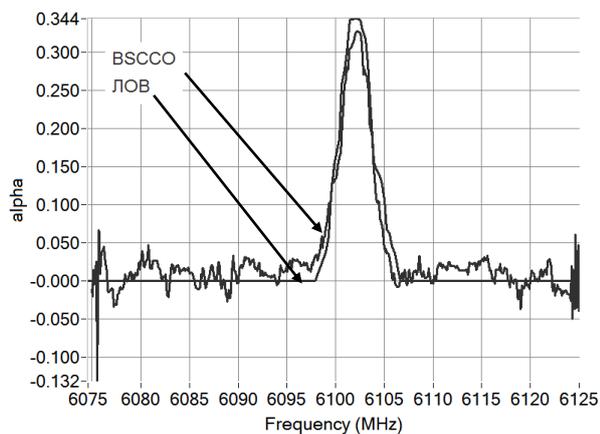


Рис. 6. Линия поглощения аммиака при давлении 0.08 мбар на частоте 572,5 ГГц.

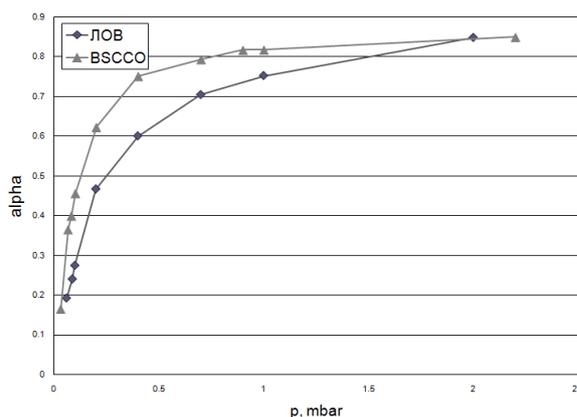


Рис. 7. Линия поглощения аммиака при различном давлении.

Наведения макроскопической поляризации в молекулярном газе с помощью фазо-диффузионного поля аналогично действию когерентного сигнала открывает возможность для создания новых методов спектроскопии поглощения на основе квазишумовых источников излучения в микроволновом и ТГц диапазонах частот.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 15-32-50850) и гранта Министерства образования и науки (№ 14.607.21.0100).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sobakinskaya E.A., Pankratov A.L., Vaks V.L. Dynamics of a quantum two-level system under the action of phase-diffusion field // *Physics Letters A*, v. 376, p. 265 – 269, 2012.
2. S.Guenon, M.Grunzweig, B.Gross et. al. Interaction of hot spots and terahertz waves in Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8</sub> intrinsic Josephson junction stacks of various geometry// *Phys. Rev. B*, 2010. Vol. 82. P. 214506.
3. R. Kleiner. Filling the Terahertz Gap // *Science*, 2007, Vol. 318. P. 1254.
4. Mengyue Li et all. Linewidth dependence of coherent terahertz emission from Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> intrinsic Josephson junction stacks in the hot-spot regime. // *Phys. Rev. B* 86, 060505(R), 2012.
5. V.P. Koshelets and S. Shitov. Integrated superconducting receivers// *Supercond. Sci. Technol.* 2000. Vol. 13. P. R53.
6. A.L.Pankratov, V.L.Vaks, V.P.Koshelets. Spectral properties of phase-locked flux flow oscillator//*J. Appl. Phys.* 102, 063912 (2007) pp. 063912-1 – 063912-5