

СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ НА БАЗЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА

О.С. Киселев¹, В.П. Кошелец¹, М.Ю. Торгашин¹, В.Л. Вакс²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики микроструктур Российской академии наук
kiselev@hitech.cplire.ru

В ИРЭ РАН была разработана, численно промоделирована, изготовлена и исследована микросхема сверхпроводникового интегрального приемника, предназначенного для спектрального анализа газовой смеси и определения изотопного состава. На основе этой микросхемы интегрального спектрометра разработан и изготовлен макет измерительной установки для спектрального анализа газовой смеси. Диапазон входных частот составляет 450 - 650 ГГц, шумовая температура в лучших точках части диапазона составляет 120К, разрешение лучше 1 МГц.

Сверхпроводниковый интегральный приемник был разработан в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и был использован в качестве спектрометра в рамках международного проекта TELIS (TErahertz LImb Sounder) для дистанционного исследования атмосферы с борта высотного аэростата в диапазоне 450 – 650 ГГц в режиме наклонного сканирования [1]. В 2009 - 2011 годах на полигоне «Estrange» (Швеция) были проведены 3 успешных запуска на высотном аэростате бортового интегрального спектрометра. Впервые в ТГц диапазоне были измерены спектральные линии атмосферного BrO, изучены дневные вариации концентрации ClO и BrO в приполярных областях атмосферы Земли; при этом точность измерения концентрации исследуемых газов составляла десятые доли ppb [2].

Успехи в разработке и применении сверхпроводникового интегрального приемника (СИП) для спектрометрии атмосферы позволили расширить область его применения и использовать СИП в качестве высокоточного лабораторного спектрометра для исследования состава газовых смесей. Достоинства СИП, сыгравшие решающую роль при его выборе в качестве приемного элемента инструмента TELIS, такие как компактность установки, широкий диапазон перестройки гетеродина и высокая чувствительность, являются решающими и для применения спектрометра в качестве коммерческого прибора. Впервые прибор со сверхпроводниковым генератором гетеродина, стабилизированным по частоте системой ФАПЧ, был использован для спектроскопии газов высокого разрешения, продемонстрирована возможность использования СИП для спектрометрии газовых смесей в газовой ячейке

Суть использованного метода исследования состава газов заключается в использовании в качестве источника СВЧ узкополосного генератора терагерцового излучения с частотой, совпадающей со спектральной линией исследуемого вещества (см. рис. 1). В используемой конфигурации используется ЛОВ с частотой генерации 120 – 160 ГГц, сигнал которого затем поступает на умножитель на полупроводниковых сверхрешетках ($n = 4 - 6$). Излучение генератора модулируется по частоте, а синхронная система регистрации детектирует уровень сигнала ПЧ на выходе СИП. На выходе синхронного детектора получаем зависимость производной уровня сигнала ПЧ от частоты; по размаху этой производной можно определить концентрацию газа в ячейке.

Исследование спектров поглощения газов производилось в стандартной газовой ячейке из нержавеющей стали. Напуск газа производился после двойной откачки ячейки до давления менее 0.005 мБар для исключения влияния предыстории эксперимента. После напуска исследуемого газа производилась постепенная откачка до рабочих давлений. Измерения производились в диапазоне давлений 0.5 –

0.01 mBar. Отработка методики измерения концентрации газа производилась на растворах аммиака, ацетона (см. рис. 2) и перекиси водорода.

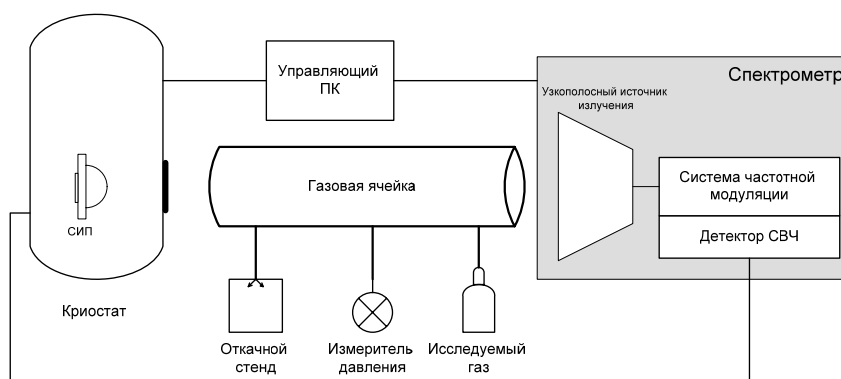


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки для анализа выдыхаемого воздуха

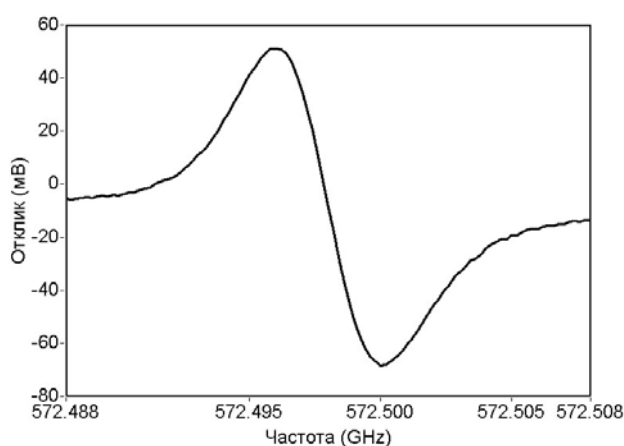


Рис. 2. Общий вид отклика прибора.
Исследуемый газ – пары 0.01% раствора аммиака. Давление в ячейке 0.3 мБар.
Исследуемая линия поглощения - 572.498 ГГц.

Были также исследованы линии поглощения паров ацетона высокой концентрации. По сравнению с аммиаком, линия поглощения ацетона обладает меньшей интенсивностью, поэтому отклик прибора при малых концентрациях раствора меньше и шумы установки становятся более заметными.

1. O. Kiselev, et al, "Balloon-Borne Superconducting Integrated Receiver for Atmospheric Research", "IEEE Trans. on Appl. Supercond.", vol. 21, pp. 612-615, 2011.
2. A. de Lange, M. Birk et al, "HCl and ClO in activated Arctic air; first retrieved vertical profiles from TELIS submillimetre limb spectra", Atmospheric Measurement Techniques, vol 5, pp 487–500, 2012

SPECTROMETER FOR GAS ANALYSIS BASED ON SUPERCONDUCTING INTEGRATED RECEIVER

O.S. Kiselev¹, V.P. Koshelets¹, M.Yu. Torgashin¹, V.L. Vaks²

¹ Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS

² Institute for Physics of Microstructures Russian Academy of Sciences

kiselev@hitech.cplire.ru

The microcircuit of the superconducting integrated receiver for gas analysis and isotope composition evaluation has been developed, modeled, fabricated and tested at IREE RAS. The laboratory setup for spectral analysis of gas mixtures based on superconducting integrated receiver has been developed. Frequency range of the spectrometer as wide as 450 – 650 GHz has been realized, minimum noise temperature of about 120K and spectral resolution better than 1 MHz have been achieved.