

Измерение концентрации формальдегида H_2CO в воздухе с помощью ДЛ типа VCSEL

- ▶ Надеждинский А.И., Наместников Д.Ю.,
- ▶ Заславский В.Я., Малюгин С.В., Малюгин С.Л.,
- ▶ Понуровский Я.Я., Шаповалов Ю.П.

▶ ОДЛС ЦЕНИ ИОФ РАН

Измерение концентрации формальдегида H_2CO в воздухе с помощью ДЛ типа VCSEL

Доклад посвящен исследованию спектра поглощения формальдегида (H_2CO) в ближней ИК области с помощью VCSEL диодного лазера. Интерес формальдегиду обусловлен тем, что он является одним из наиболее распространенных органических соединений, широко применяемых в промышленности и строительстве.

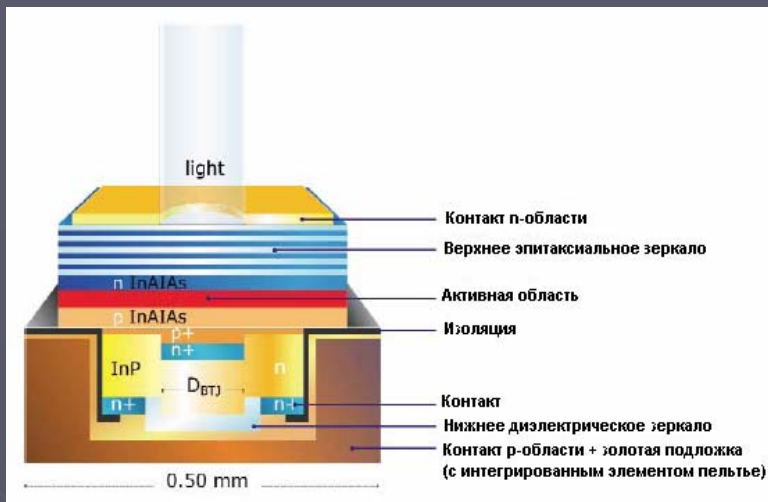
В природе формальдегид образуется в результате фотохимических процессов: реакции между гидроксид-радикалом OH и метаном CH_4 , но под действием света формальдегид диссоциирует, образуя свободные радикалы.

По данным Всемирной Организации Здравоохранения формальдегид признан канцерогеном.

Предельная допустимая среднесуточная концентрация формальдегида не превышает 0.5 ppm.

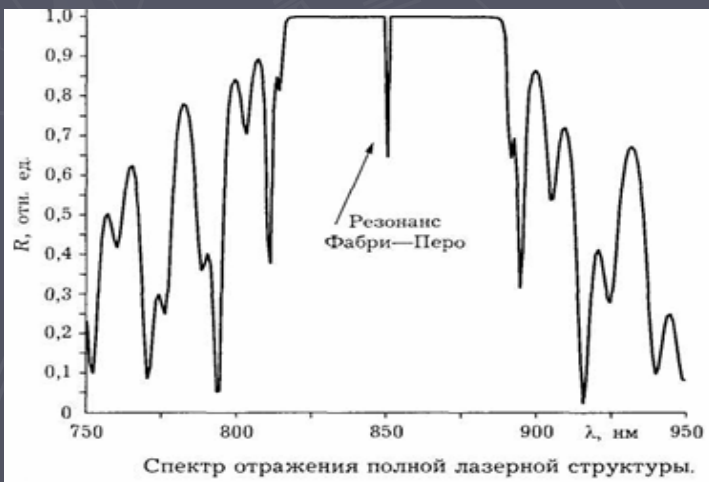
Фоновая концентрация в атмосфере не превышает 8 ppb.

Полупроводниковая структура лазера с вертикальным резонатором VCSEL

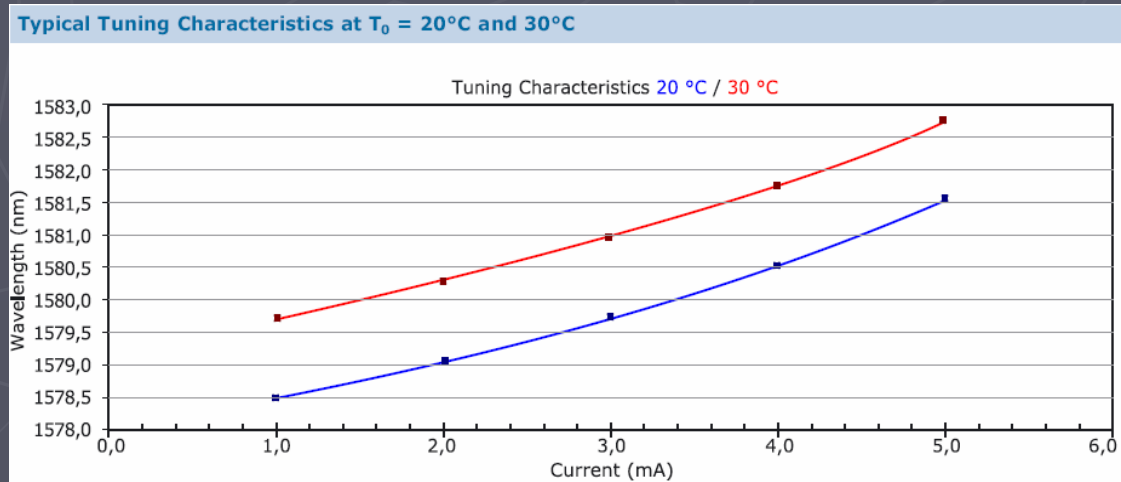


- ▶ N слоев брегговских зеркал 25-35 (до 1000)
- ▶ Длина активной области $\sim 1\mu\text{м}$
- ▶ Усиление на проход – 1%
- ▶ $R \geq 0.995$
- ▶ Апертура излучения - 5 - 10 $\mu\text{м}$
- ▶ Расходимость 10-20°
- ▶ Мода TEM (00)

Спектр отражения VCSEL лазерной структуры.



Зависимость длины волны излучения от тока накачки лазера.

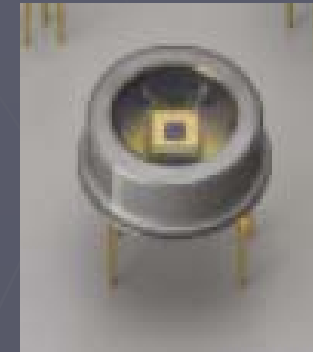


**ДЛ (VCSEL) 1,79 мкм «VERTILAS»
(info@vertilas.com). с встроенным
элементом Пельтье и термодатчиком**

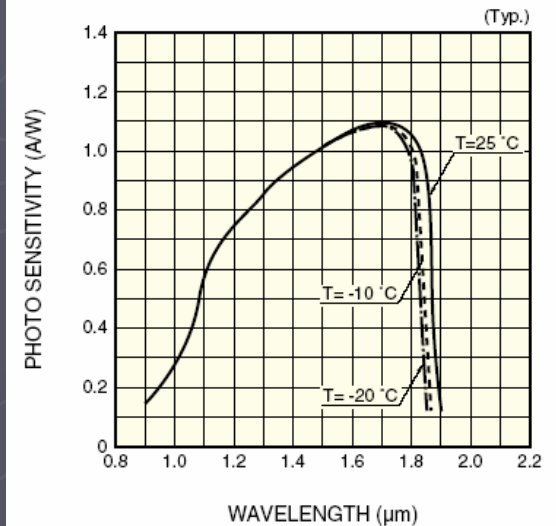


| | |
|---|------------|
| Производитель | «VERTILAS» |
| Модель | VL-1580-1- |
| Характеристик и при T_{LD} , $^{\circ}\text{C}$ | 25 |
| Выходная опт. мощность, mW | 0.6 |
| Длина волны, nm | 1601-1800 |
| Пороговый ток, mA | 0.9 |
| Рабочий ток, mA | 15 |

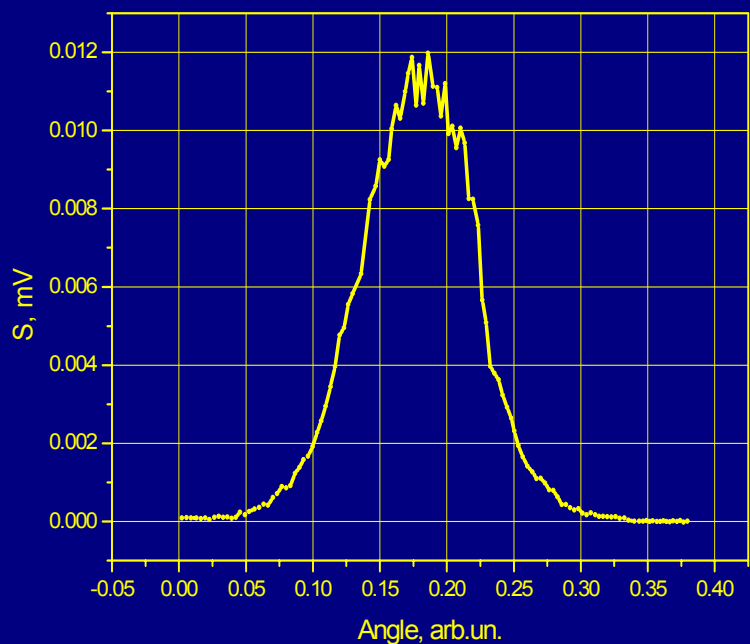
**InGaAs фотодиод фирмы
«HAMAMATSU» с
встроенным элементом
Пельтье.**



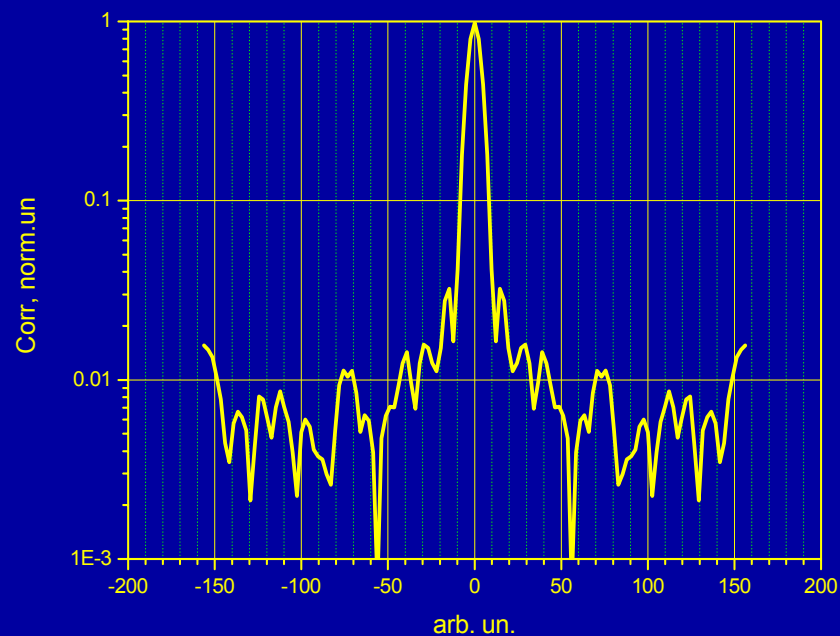
■ Spectral response



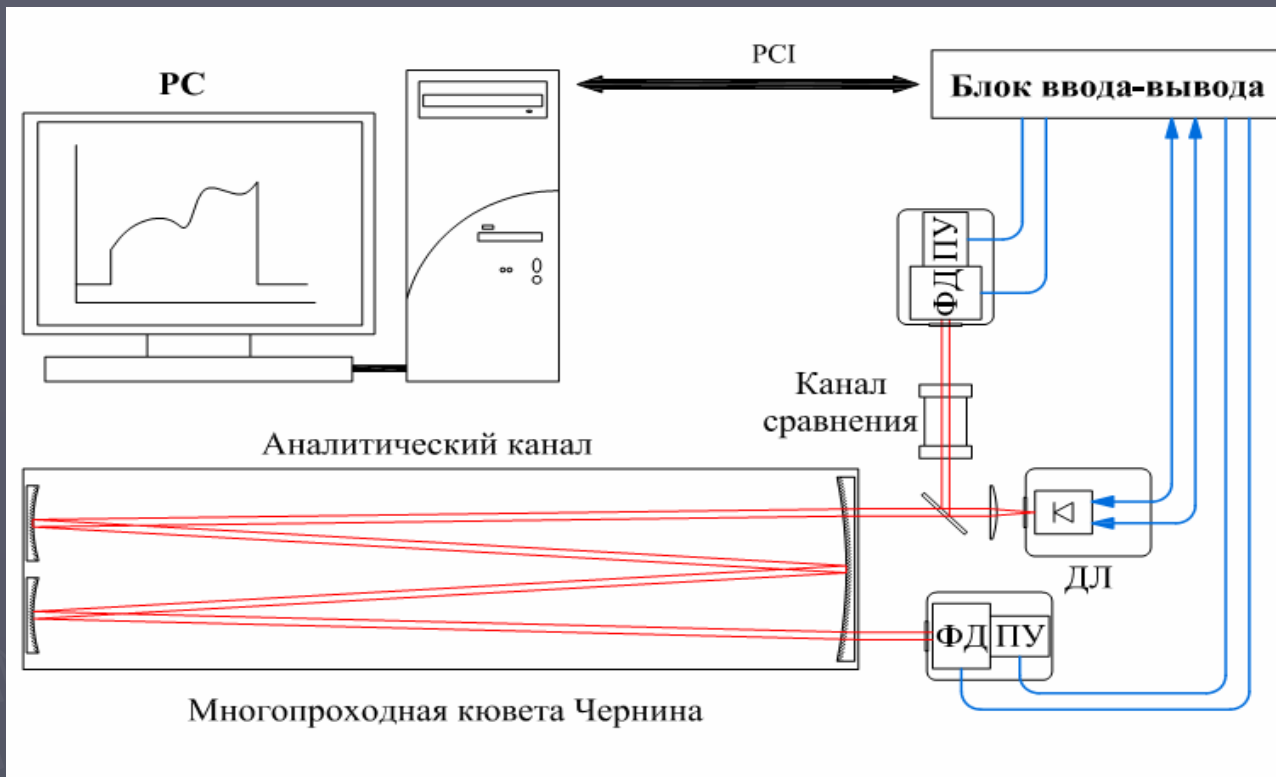
Угловое распределение интенсивности VCSEL (1.79мкм)



Корреляционная функция ближнего поля излучения



Блок-схема измерений и фото установки



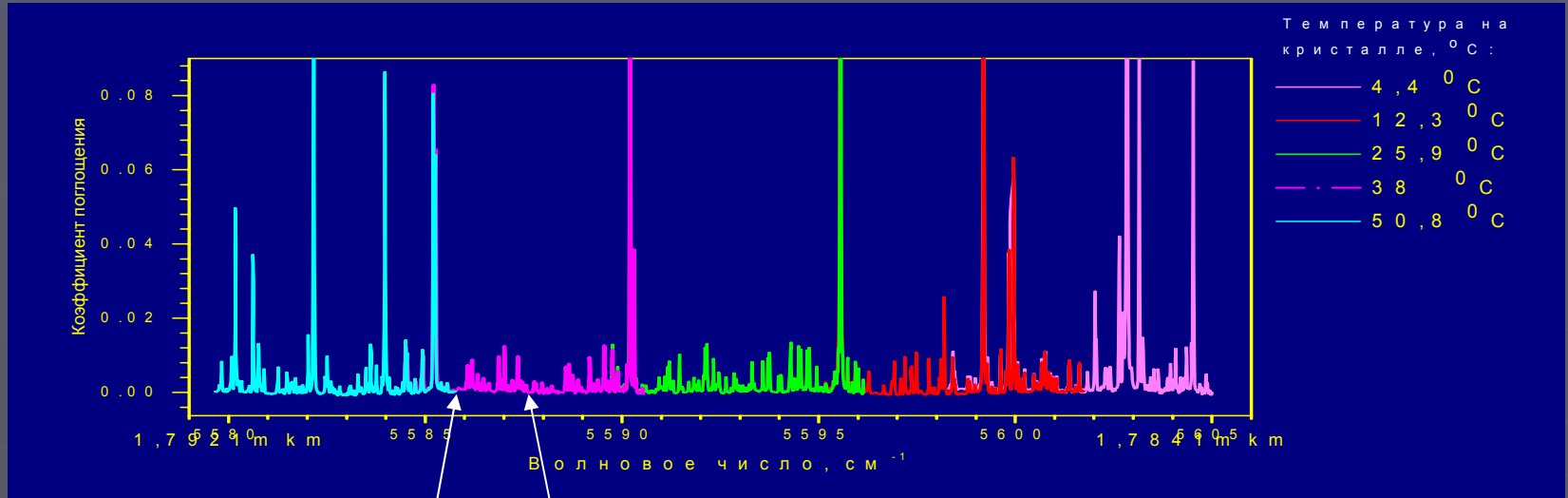
Многопроходная кювета С.М.Чернина (Lopt = 39м)

• Рабочее давление – 25 тор

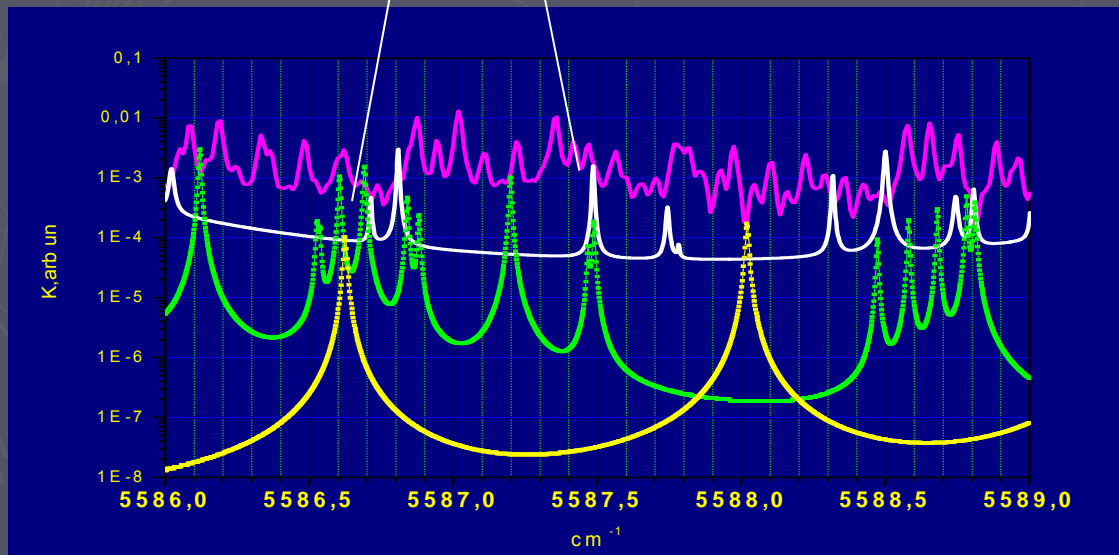
Источник - 40% водный аствор Формальдегида (формалин)



Обзорный спектр Формальдегида, полученный с помощью VCSEL лазера в диапазоне 4.4 – 50.8 °C



Рабочая область: 5586.7 – 5587.3 см⁻¹



H₂CO P= 10 mTorr

H₂O P=10 Torr
«HITRAN»

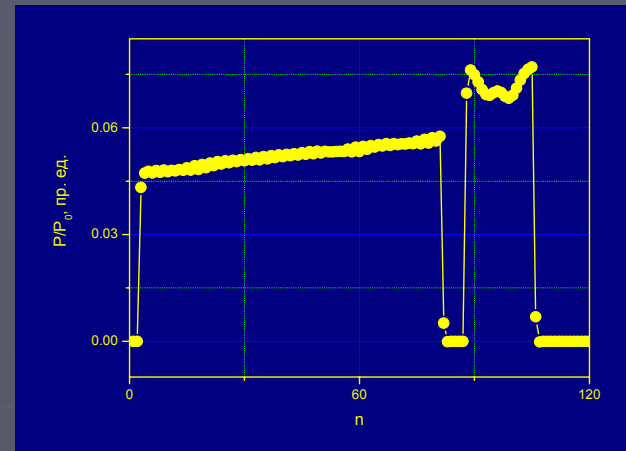
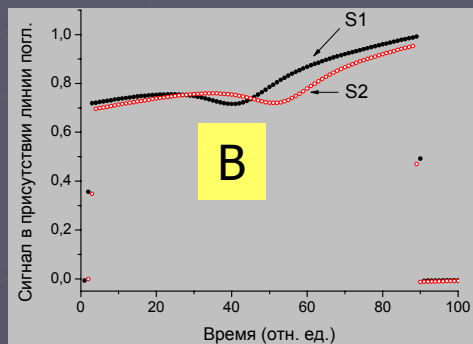
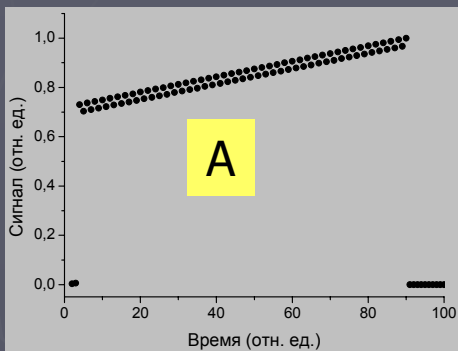
CH₄ C=1.5 ppm
«HITRAN»

CO₂ c=0.03 %
«HITRAN»

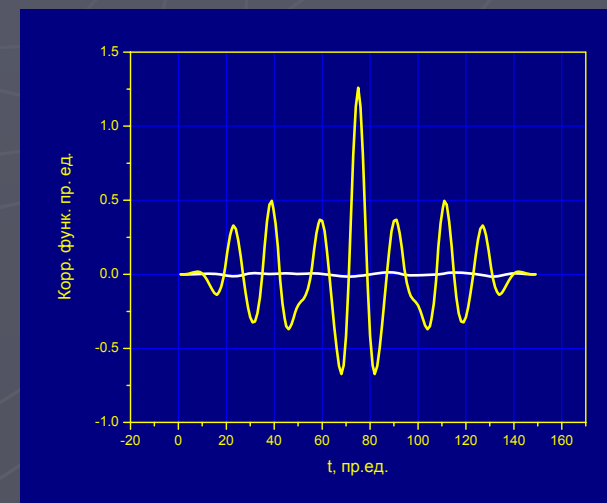
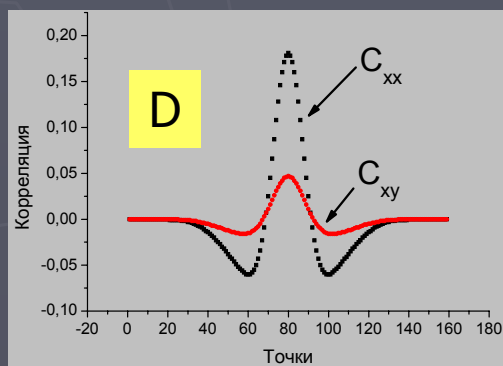
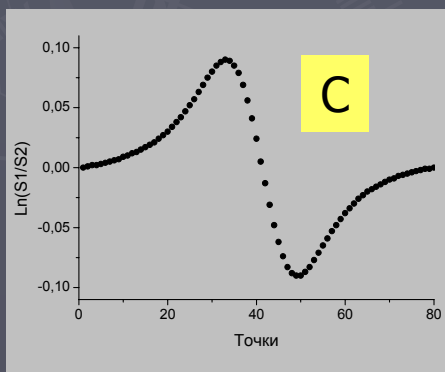
P_{полное} = 25 Torr, L=39 м.

Модуляционный режим импульса тока накачки ДЛ при регистрации слабых линий поглощения

Этапы определения концентрации H_2CO



Рабочий режим измерения



$$C = \frac{\alpha \cdot P_R \cdot L_R}{P_A \cdot L_A} \cdot 10^9, [ppb]$$

$$C_{xy} = \alpha \cdot C_{xx}$$

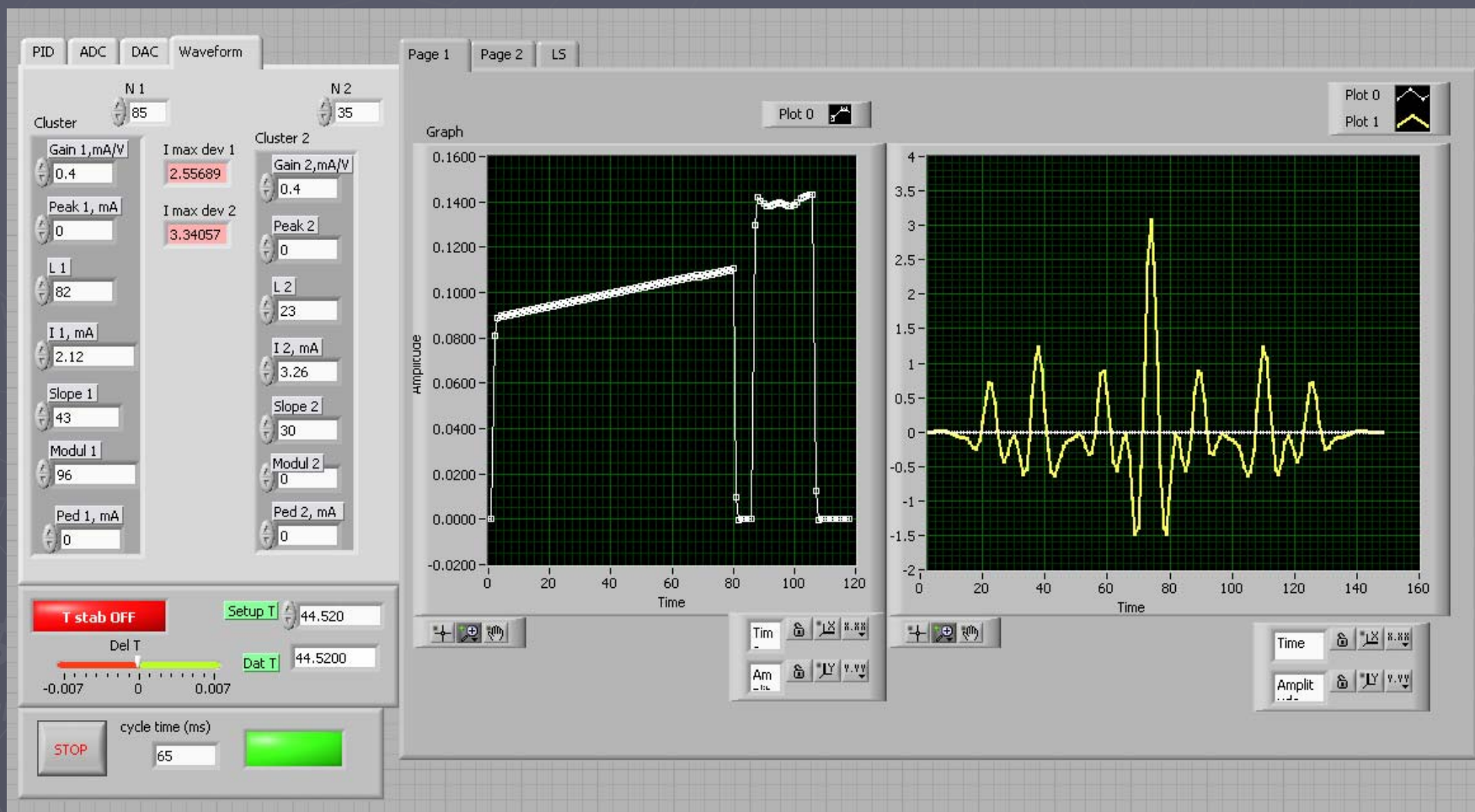
Окно рабочей программы газоанализатора

Двухимпульсный модуляционный режим измерений (слева):

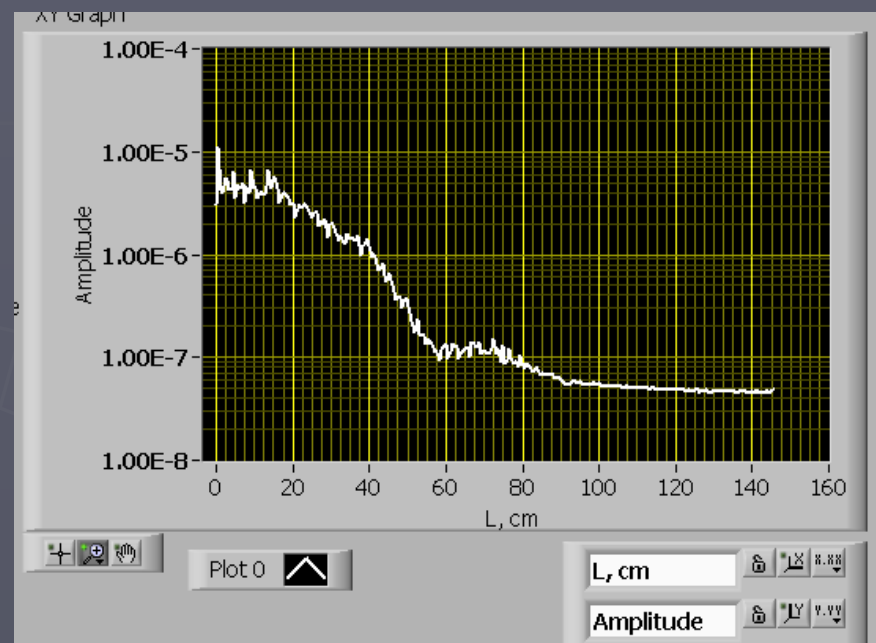
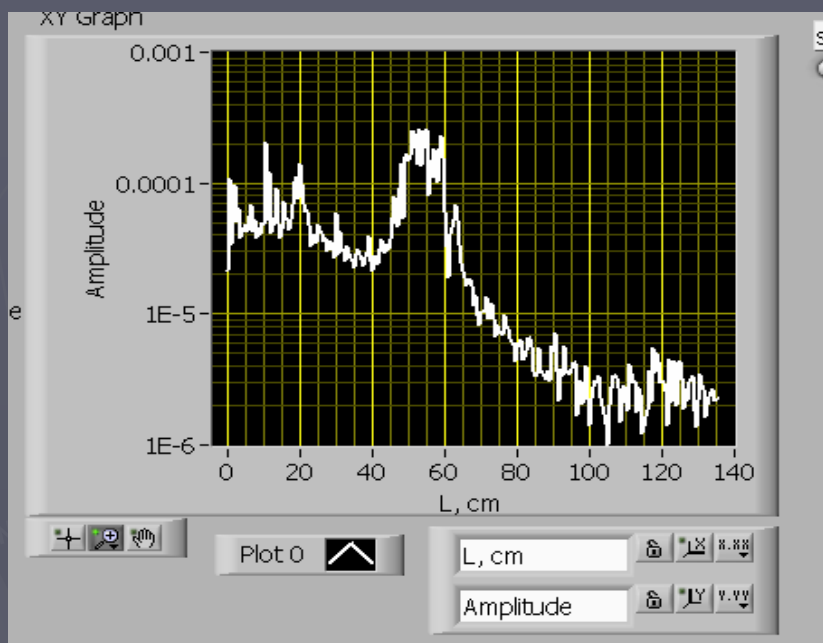
обеспечивает выбором наклона «привязку» спектра формальдегида к линиям воды и температурную стабилизацию циклов сканирования частоты ДЛ.

Корреляционная функция (справа)

модуляционного сигнала в выбранной области поглощения формальдегида.



Шумы оптоэлектронного тракта.

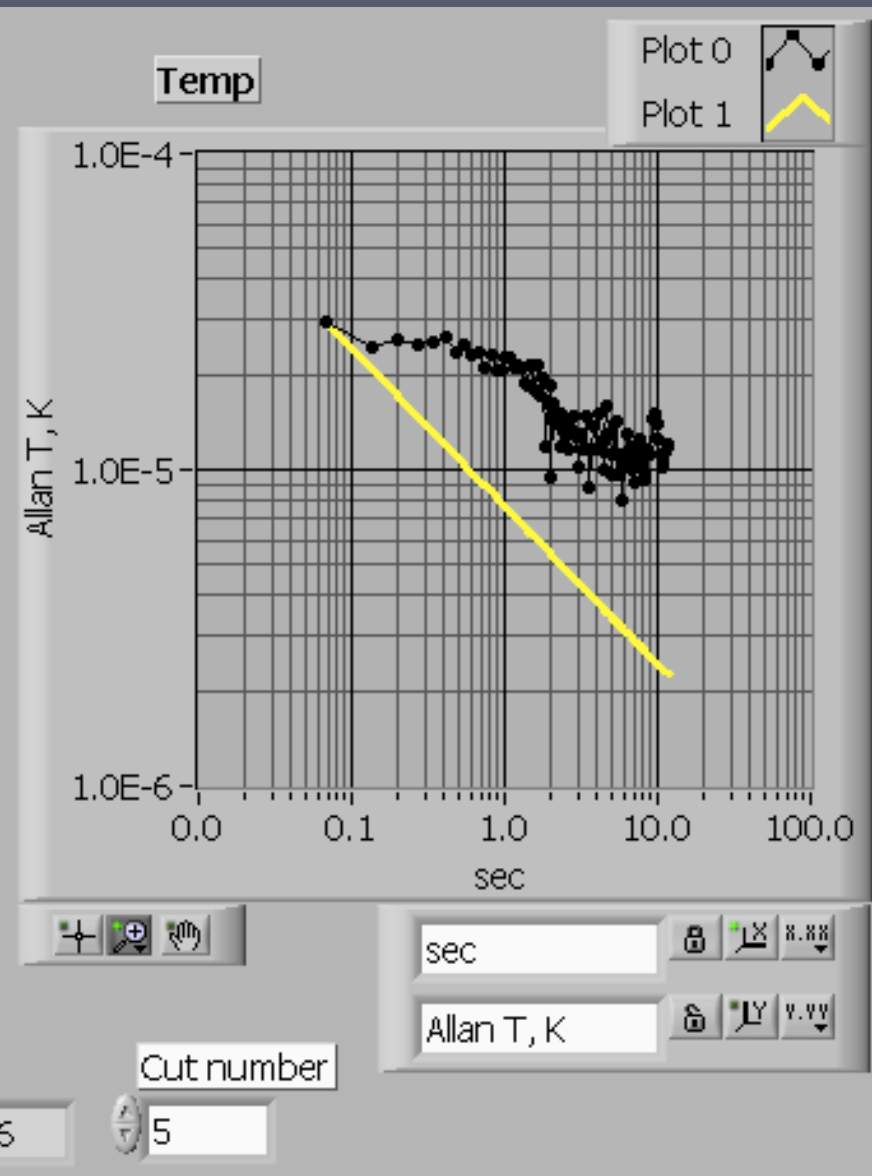
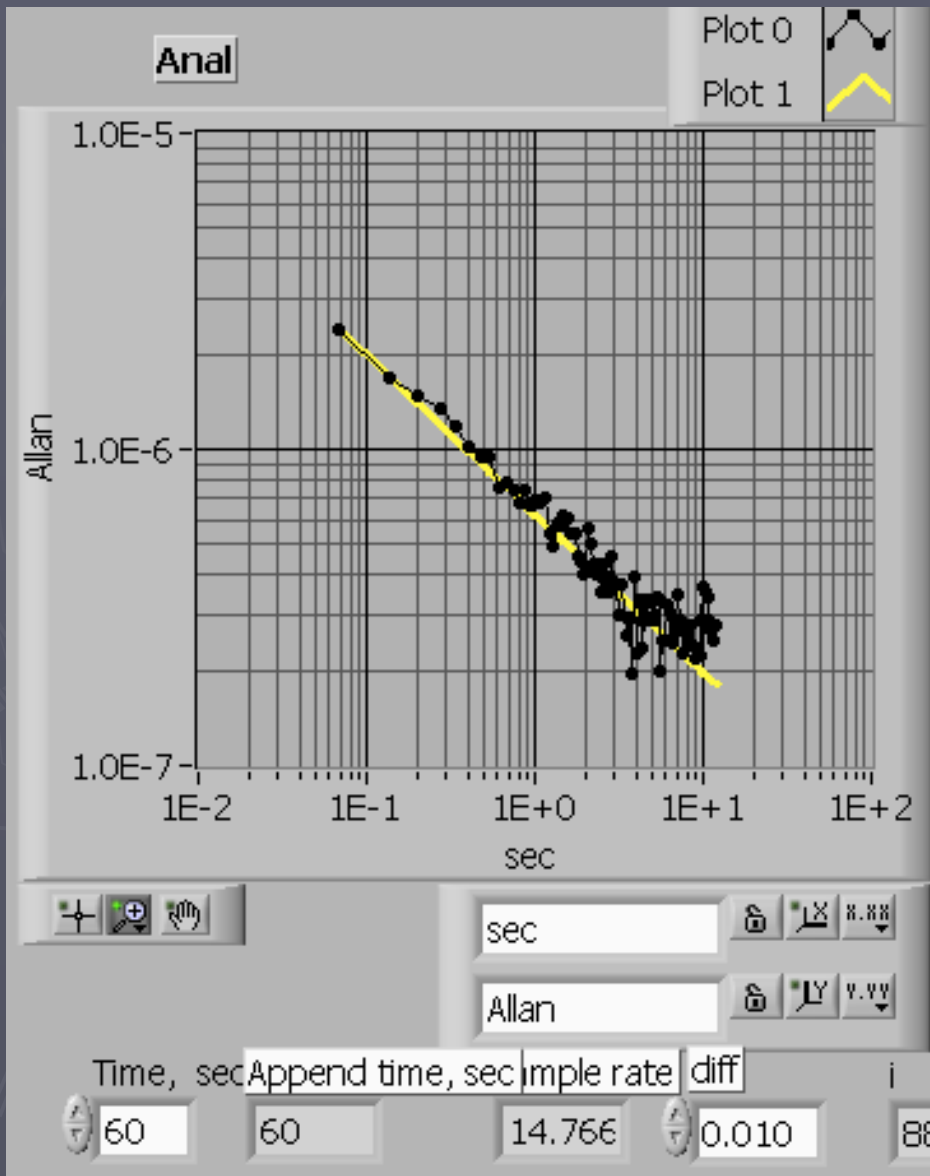


Фурье-образ сигнала при наличии интерференционных шумов на выходе многопроходной кюветы (39м)

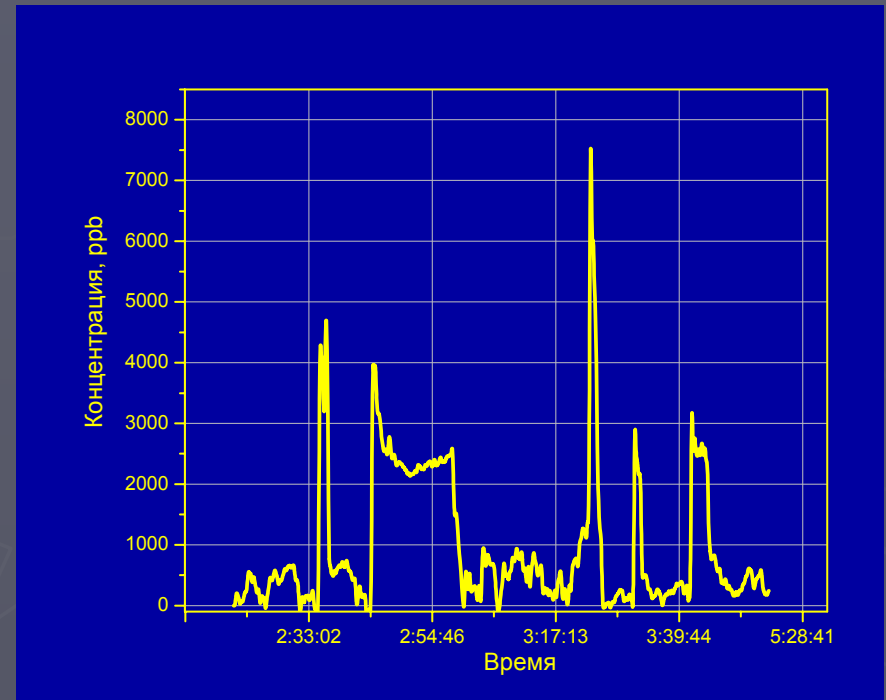
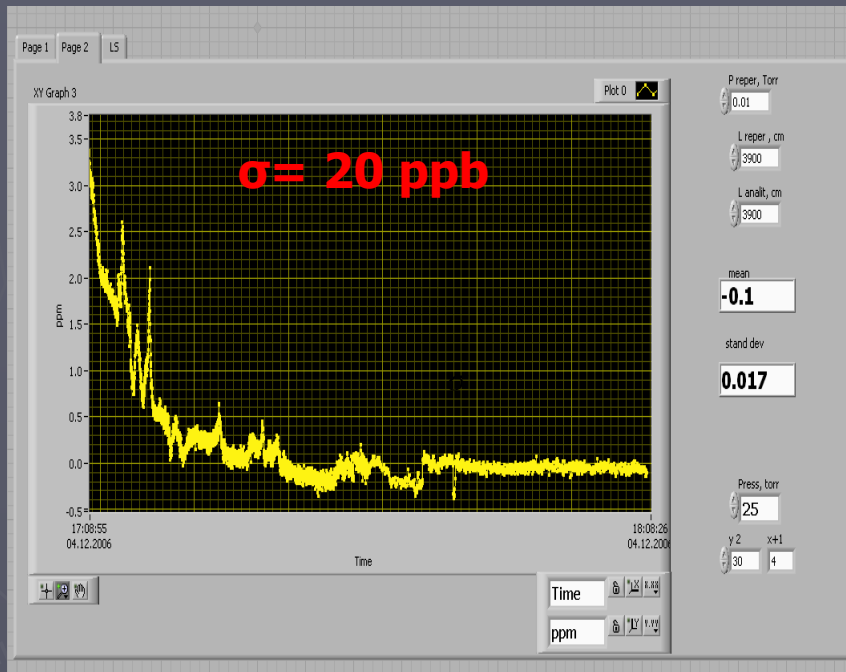
То же, но с включенным генератором шума ($\Delta f \sim 30$ мГц, $I_{ш} = 0.02$ мА)

Увеличение $I_{ш}$ до 0.1 мА приводит к искажению регистрируемого спектра.

Графики дисперсий Аллана коэффициента поглощения и стабильности температуры ДЛ .



Экспериментальные результаты.



Регистрация формальдегида в реальном режиме времени:

прокачка воздуха через многопроходную кювету при давлении 25торр.

Каждый всплеск – «обнюхивание» закрытой банки, содержащей ватку смоченную формалином, по прошествии 5 дней.

Долговременные измерения – обнаружение H₂CO:

σ – 20 ppb

Фон H₂CO в помещении ~ 500ppb

Всплески – обнаружение H₂CO от различных источников.

ВЫВОДЫ.

1. Исследованы характеристики VICSEL лазера применительно к регистрации формальдегида в ближней ИК области – 1,79 мкм
2. Измерен «панорамный» спектр формальдегида в диапазоне температур 4.4 – 50.8°C (5579 – 5605 см⁻¹). Выбрана аналитическая область детектирования H₂CO, минимизирующая влияние интерферирующих линий H₂O, CO₂ и CH₄.
3. Создана лабораторный газоанализатор для регистрации паров формальдегида в атмосфере.
4. Разработано программное обеспечение в среде «LabView 8.2» для управления газоанализатором, сбора и обработки результатов измерений. Использовалась 16 разрядная плата ввода/вывода NI 6052 E.
5. Исследованы различные источники шумов оптоэлектронного тракта газоанализатора, выбраны оптимальные способы и режимы их подавления.
6. Проведены измерения паров формальдегида в воздухе с чувствительностью $\sigma \sim 20$ ppb при времени единичного измерения $\tau \sim 60$ мс.