

## ИК-влагометрия

Последние годы отмечены существенным прогрессом в создании инфракрасных (ИК) свето- и фотодиодов, работающих при комнатной температуре и пригодных для применения в оптических анализаторах, использующих измерение поглощения вблизи фундаментальных полос метана  $v_3$  (3.3 мкм) и аммиака (3 мкм) [<sup>1</sup>]. При этом благодаря использованию сильно легированных подложек арсенида индия удается получать конструкции «флип-чип» со свободной от контактов излучающей поверхностью, что создает благоприятные условия для оптическойстыковки последней с иммерсионными линзами, позволяющими значительно уменьшить потери на отражение и снизить диаграмму направленности излучения.

Вода является едва ли не самым важным компонентом, контроль за содержанием которого важен в пищевой деревообрабатывающей, химической и др. отраслях промышленности. В ФТИ им. А.Ф. Иоффе были проведены исследования, направленные на создание датчиков, измеряющих содержание воды в ее смесях с углеводородами [<sup>2,3</sup>], однако, не было сделано попыток создания датчиков влажности воздуха вблизи основной полосы поглощения – 2.7 мкм.

В данном протоколе мы сообщаем о предварительных результатах по измерению влажности воздуха с использованием иммерсионных оптоэлектронных компонент, работающих вблизи основной полосы поглощения паров воды – 2.7 мкм.

Свето- и фотодиоды были получены, как описано в [1] и патенте РФ # 2261501. Диоды дополнительно содержали иммерсионные линзы диаметром 3.3 мм, изготовленные из антимонида кадмия. Спектральные характеристики диодов представлены на Рис.1, из которого видно, и спектры диодов, и их произведение, представляющее собой спектр «чувствительности» оптопары, перекрывается с коротковолновой стороны ( $\lambda=2.6\text{--}2.9$  мкм) со спектром поглощения паров воды, взятого нами из базы HITRAN.

Экспериментальная установка включала оптическую кювету со сферическим зеркалом и окном из кварца, светодиод 2.9 мкм в корпусе типа «винт», соединенный с генератором MIRDOG-G (200 мА, 2 кГц, 100 мкс), фотодиод 2.9 мкм в корпусе типа «винт», соединенный с предварительным усилителем MIRDOG-A, как показано на Рис.2. Выход усилителя был подсоединен к А/Д конвертеру, сигнал которого вводился в компьютер. Генератор влажного воздуха был собран на основе аквариумного микрокомпрессора, прокачивающего («пробулькивающего») воздух через воду, находящуюся при комнатной температуре (20°C).

На Рис 3 приведена зависимость сигнала на фотодиоде от времени, показывающая следующие фазы эксперимента:

1) квазистабильное состояние при постоянной продувке влажного воздуха через кювету (t=0-600 с).

2) резкое увеличение величины сигнала при замещении в кювете влажного воздуха более сухими, взятыми из атмосферы комнаты, в которой проводились измерения (t = 600-610 с)

3) постепенное падение сигнала, вызванное поглощением парами воды при постепенной замене «сухого» воздуха смесью, поступающей из генератора влажности (t = 610-1080 с).

4) повторение тех же фаз, что и в 1) 2) 3) (t=1080-1400 с).

Как следует из полученных результатов, имеются хорошие перспективы для создания оптических анализаторов влажности на основе оптопар 2.9 мкм. Среди ближайших задач, которые необходимо решить для создания таких анализаторов являются проведение температурной коррекции выходных сигналов с помощью аналитических выражений и стабилизация сигналов за счет использования регулируемого термоохлаждения. Последнее будет также полезным для увеличения чувствительности сенсора из-за увеличения отношения сигнал/шум оптопары и получения большего перекрытия спектра «чувствительности» со спектром паров воды за счет сдвига спектральных характеристик диодов в коротковолновую сторону при понижении температуры.

Отметим, что описанный выше датчик может быть применен для измерения влажности природного газа, например в трубопроводах, поскольку газ (в основном, метан) прозрачен для излучения в области 3 мкм.

St.Petersburg, February 20, 2006

### Water vapor measurements

Recent years have seen extensive research of the mid-IR (2-5  $\mu\text{m}$ ) diodes and as a consequence robust resonant cavity LEDs, optically pumped LEDs with structured surface, uncoated LEDs with flat surface and immersion lens LEDs and have already approached the 1 mW output power range. The latter has an advantage of narrow (collimated beam) that is convenient to use in optical instrumentation.

<sup>1</sup> Boris A. Matveev, Meyrhan Aydaraliev, Nonna V. Zotova, Sergey A. Karandashov, Natalia D. Il'inskaya, Maxim A. Remennyi, Nikolai M. Stus', Georgii N. Talalakin, «Flip-chip bonded InAsSbP and InGaAs LEDs and detectors for the 3  $\mu\text{m}$  Spectral Region» IEE Proc.-Optoelectronics 2003, v.150, No 4, pp.356-359

<sup>2</sup> B. A. Matveev, N.V.Zotova, S. A. Karandashev, M. A. Remennyi, N. M. Stus' and G.N.Talalakin “3.4  $\mu\text{m}$  “Flip-chip” LEDs for Fiber Optic Liquid Sensing” Proceedings of the 1-st International CONFERENCE on ADVANCED OPTOELECTRONICS and LASERS (CAOL'2003), September 16-20, 2003 Alushta, Crimea, Ukraine v.2, pp138-140

<sup>3</sup> B.A. Matveev, G.A. Gavrilov, V.V. Evstropov, N.V. Zotova, S.A. Karandashov, G.Yu. Sotnikova, N.M. Stus', G.N. Talalakin and J. Malinen, "Mid-infrared (3-5  $\mu\text{m}$ ) LEDs as sources for gas and liquid sensors", Sensors and Actuators, B 38-39, (1997) 339-343

## Предложение к сотрудничеству в области создания влагомеров

As water is one of the major substances on Earth the moisture measurements are important in many areas including food industry, agriculture, weather prediction etc.. Previously Ioffe Physico-Technical Institute RAS (St.Petersburg, Russia) briefly described possibilities that arise from the use of mid-IR LED emitting around  $\lambda=3\text{ }\mu\text{m}$  for optical determination of water in oil [1] and hydrocarbons dissolved in water [1].

Here we show preliminary results obtained at Ioffe Institute during the period of 17 – 21 February , 2006 on the studies of  $\text{H}_2\text{O}$  vapor sensing using 2.9  $\mu\text{m}$  diode optopair.

The analyzer prototype utilized PD and LED fabricated from InAsSbP based heterostructures with the design covered by Russian patent # 2261501; the diodes were equipped with 3.5 mm wide immersion lenses limiting the FWHM of the far field pattern to about 20-30 deg. Fig.1 demonstrates PD and LED spectra as well as the product of the above. The latter has a meaning of spectral sensitivity of the pair. Fig.1 shows also the relative absorption spectrum of the water vapor derived from the HITRAN database. As seen from Fig.1 there is overlapping of the vapor absorption and pair sensitivity in the shortwave region (2.6-2.9  $\mu\text{m}$ ).

The experimental set up for  $\text{H}_2\text{O}$  sensing consisted of a chamber with quartz widow and spherical mirror placed inside the cell so that the optical path inside the cell was about 10 cm as shown in Fig.2. 2.9  $\mu\text{m}$  LED and PD were mounted outside the cell so that the total optical path was around 14 cm. The MIRDOG pulse generator produced current pulses of 200 mA (100 us) with a repetition rate of 2 kHz. The PD was connected with MIRDOG preamplifier whose output was converted into the digital code directed to the PC.

Water vapor was generated in the closed chamber by air flux going through the water at 20°C.

Fig.3 presents PD amplified signal vs time at several humidity conditions inside the chamber: 1) wet air at constant air flow through the chamber (0-600s). 2) “dry” air obtained when the cell was disconnected from the chamber and when a flow of dry air through the cell was initiated ( 600-610 ) s 3) gradual increase of the humidity obtained when wet air flow was started through the cell (610-1080 s) 4) the same consequence as in 2) and 3) (1080-1400 s).

As seen from the presented materials there is already a possibility to use the 2.9  $\mu\text{m}$  diode optopair signal to monitor humidity in air. Future analyzer construction will possibly include reference signals and additional detector/LED as well as thermoelectric cooler (TEC) to stabilize the sensor temperature. Additional advantage of the TEC use is the shift the spectral characteristics towards short wavelengths which will give some benefits in terms of better sensitivity due to better spectral overlapping of the pair and vapor spectra.

Due to fast response of the sensor it can be used for determination of moisture in high speed fluxes e.g. in methane gas traveling in the pipes.

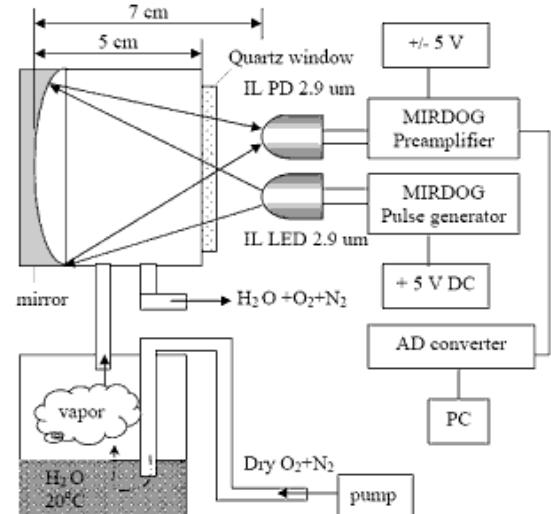
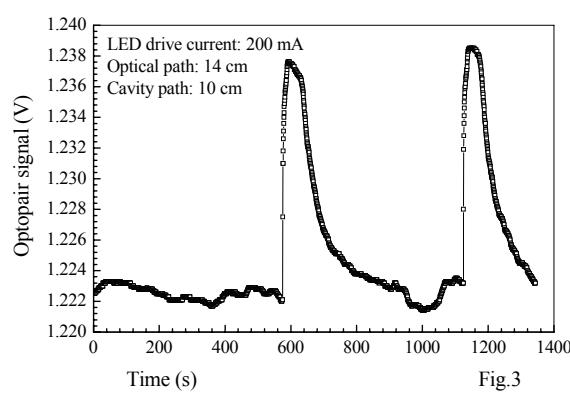
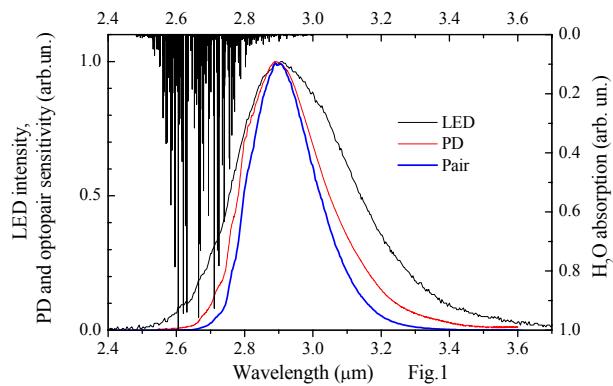


Fig.2 Set up used for humidity measurements