

УДК 535.338

ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕТО- И ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ВОДЕ

Д. М. КАБАНОВ, Р. Ю. МИКУЛИЧ, Д. В. ШАБРОВ

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Минск, Беларусь

UDC 535.338

OPTICAL PARAMETERS OF LIGHT-EMITTING DIODES AND LASER DIODES FOR DETECTING OF OIL PRODUCTS AND GREENHOUSE GASES IN WATER

D. M. KABANAU, R. Y. MIKULICH, D. V. SHABROV

Аннотация

Наиболее предпочтительной областью детектирования нефтепродуктов в воде является средний инфракрасный диапазон спектра, а именно 1,5–2,4 мкм. В данном диапазоне присутствуют характерные, интенсивные полосы поглощения как нефти и нефтепродуктов, так и воды. Установлено, что для детектирования нефти и нефтепродуктов необходимо использовать источники излучения с максимумом спектра излучения в диапазоне 1,68–1,79 мкм. Для детектирования воды источник излучения должен иметь максимум спектра излучения в диапазоне 1,85–2,0 мкм. При этом данные продукты имеют окно прозрачности в диапазоне 1,5–1,6 мкм.

Установлено, что для детектирования парниковых газов предпочтителен средний инфракрасный диапазон спектра, так как в данном диапазоне наименьшее количество линий поглощения примесей воздуха. Для детектирования таких компонентов атмосферы, как водяные пары и метан, можно использовать диапазон от 1 до 4 мкм, где присутствуют характерные полосы поглощения воды с максимумами на 1,9 и 2,7 мкм и метана с максимумом на 3,3 мкм. Также в данном диапазоне присутствуют менее интенсивные линии поглощения углекислого газа (2,7 мкм) и закиси азота (2,9 и 3,9 мкм).

Ключевые слова:

оптический абсорбционный метод, инфракрасная спектроскопия, лазерные диоды с GaInAsSb активной областью.

Abstract

The most preferable area of detecting of oil products in water is the mean infrared range of a range, namely 1,5–2,4 microns. At this range there is reference, intensive absorption bands both oil and oil products, and water. It is established that for detecting of oil and oil products it is necessary to use sources of radiation with a radiation spectrum maximum in the range of 1,68–1,79 microns. For water detecting the source of radiation has to have a radiation spectrum maximum in the range of 1,85–2,0 microns. At the same time these products have a spectral window in the range of 1,5–1,6 microns.

It is established that average is preferable to detecting of greenhouse gases infrared the range range as in this range the least number of lines of absorption of impurity of air. For detecting of such components of the atmosphere as steams and methane, it is possible to use the range from 1 to 4 micron where there are reference absorption bands of water with maxima on 1,9 and 2,7 microns and a methane with a maximum on 3,3 microns. Also at this range there are less intensive lines of absorption of a carbon dioxide (2,7 microns) and nitrous oxides (2,9 and 3,9 microns).

Key words:

method of optical absorption, infrared spectroscopy, laser diodes with GaInAsSb the fissile area.

Оптические приборы детектирования на основе лазерных диодов могут быть использованы для решения задач экологического и технологического мониторинга. Повышение содержания парниковых газов в биосфере способно вызвать глобальные геофизические и геохимические изменения: изменение климата, закисление природных вод, загрязнение мирового океана и нарушение в нем баланса углекислоты, разрушение озонового слоя. С целью обнаружения изменения содержания парниковых газов в окружающей среде и проводят исследования состава атмосферного воздуха, воды и почв.

К методам, позволяющим разработать энергоэффективные приборы экологического и технологического мониторинга с малыми габаритами, высокой точностью, селективностью детектируемых газов относится оптический абсорбционный метод. Для определения содержания нефти и нефтепродуктов, а также парниковых газов в воде и в воздухе целесообразно использовать метод селективного оптического поглощения излучения детектируемыми средами в инфракрасной области спектра, используя в качестве источника излучения светодиоды и лазерные диоды [1, 2].

В результате экспериментального исследования спектров поглощения нефти, нефтепродуктов и воды установлен спектральный диапазон детектирования данных продуктов. Наиболее предпочтительной областью детектирования нефтепродуктов в воде является средний инфракрасный диапазон спектра, а именно 1,5–2,4 мкм. В данном диапазоне присутствуют характерные, интенсивные полосы поглощения как нефти и нефтепродуктов, так и воды. На рис. 1 и 2 представлены экспериментально полученные характерные спектры поглощения нефтепродуктов, нефти и воды.

Установлено, что для детектирования нефти и нефтепродуктов необходимо использовать источники излучения с максимумом спектра излучения в диапазоне 1,68–1,79 мкм. Для детектирования воды источник излучения должен иметь максимум спектра излучения в диапазоне 1,85–2,0 мкм. При этом данные продукты имеют окно прозрачности в диапазоне 1,5–1,6 мкм.



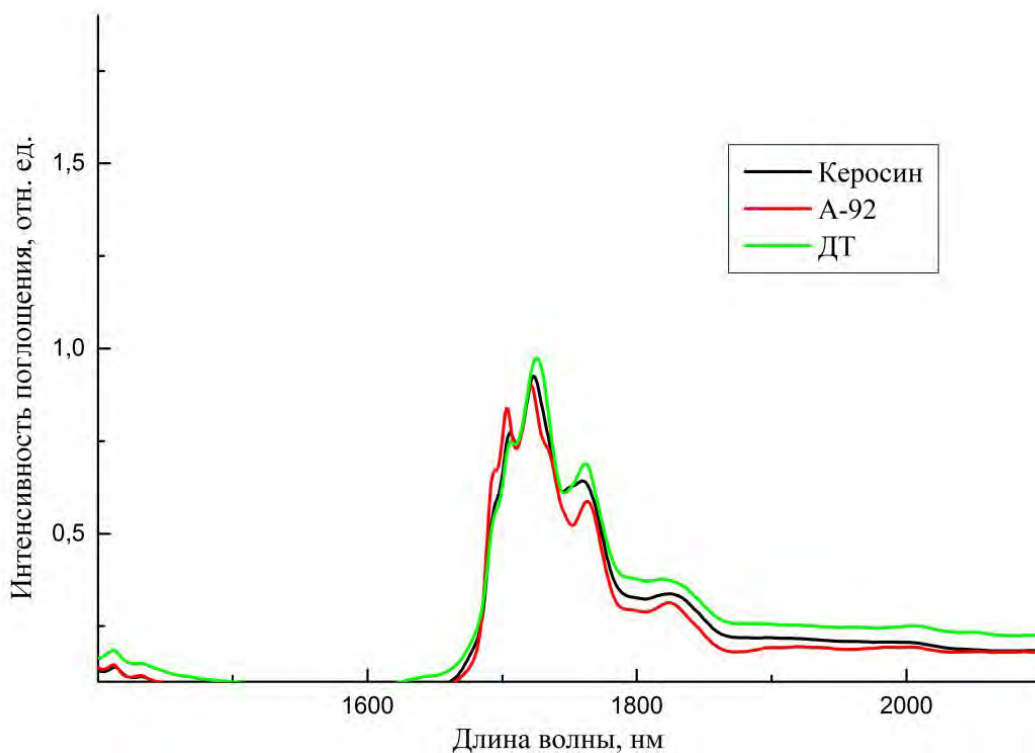


Рис. 1. Спектры поглощения нефтепродуктов

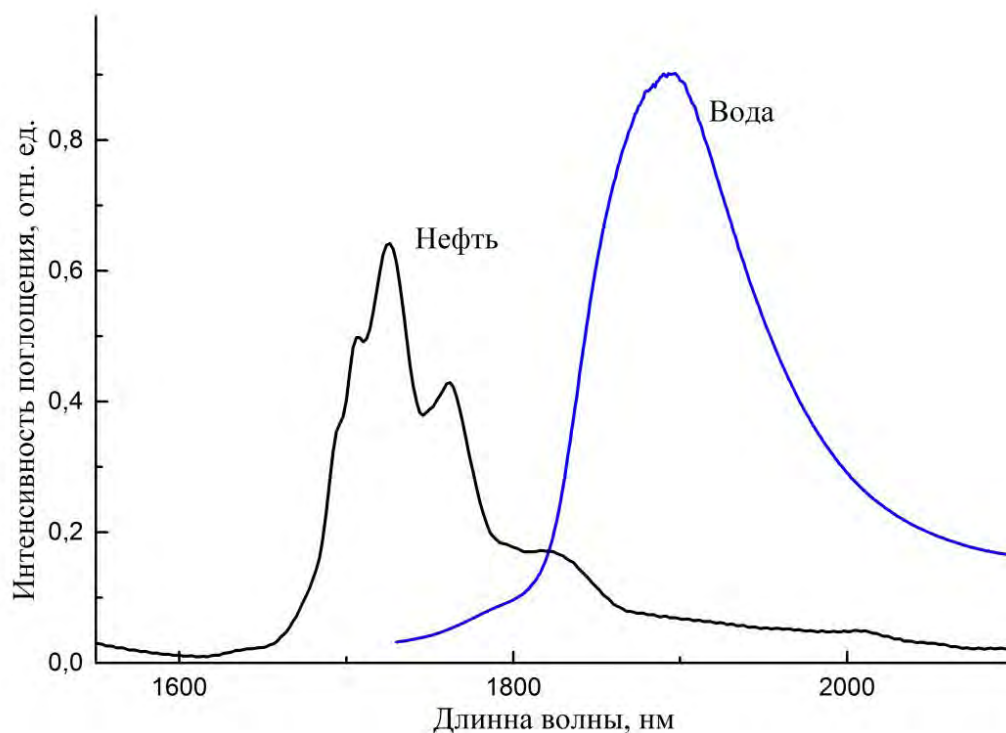


Рис. 2. Сравнение спектров поглощения нефти и воды

Установлено, что для детектирования целого ряда парниковых газов предпочтителен средний инфракрасный диапазоне спектра, так как большинство характерных линий поглощения располагаются отдельно без сильного перекрытия (см. рис. 3, 4). Для детектирования таких компонен-

тов атмосферы, как водяные пары и метан, можно использовать диапазон от 1 до 4 мкм, где присутствуют характерные полосы поглощения воды с максимумами на 1,9 и 2,7 мкм и метана с максимумом на 3,3 мкм. Также в данном диапазоне присутствуют менее интенсивные линии поглощения углекислого газа (2,7 мкм) и закиси азота (2,9 и 3,9 мкм) [3].

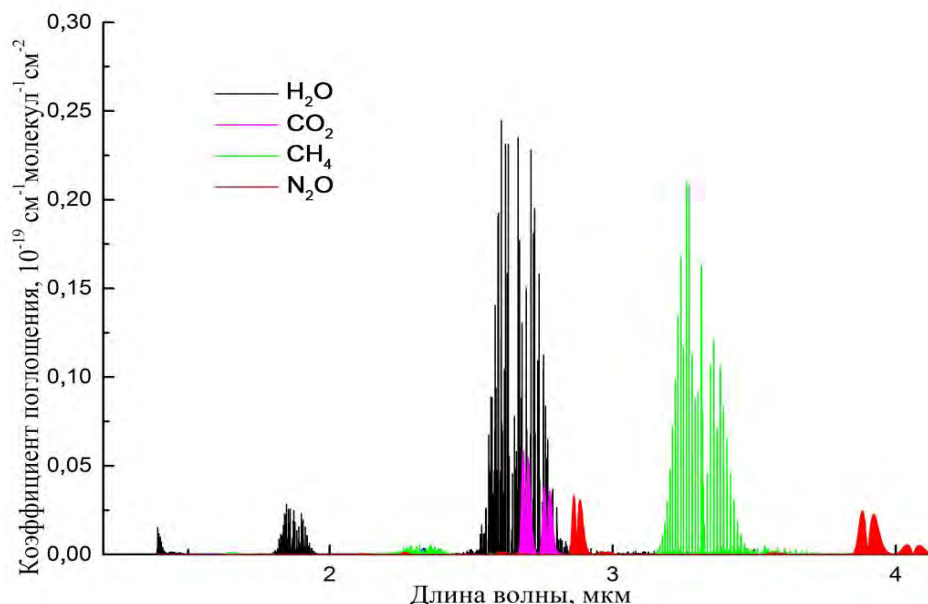


Рис. 3. Спектры поглощения основных парниковых газов в диапазоне от 1 до 4 мкм

Для детектирования таких парниковых газов, как углекислый и угарный газы, а также закиси азота предпочтительней использовать диапазон от 4 до 5 мкм (рис. 4.) В данном диапазоне присутствуют характерные полосы поглощения: CO_2 (4,2–4,3 мкм); CO (4,6–4,7 мкм); N_2O (4,4–4,6 мкм) [3].

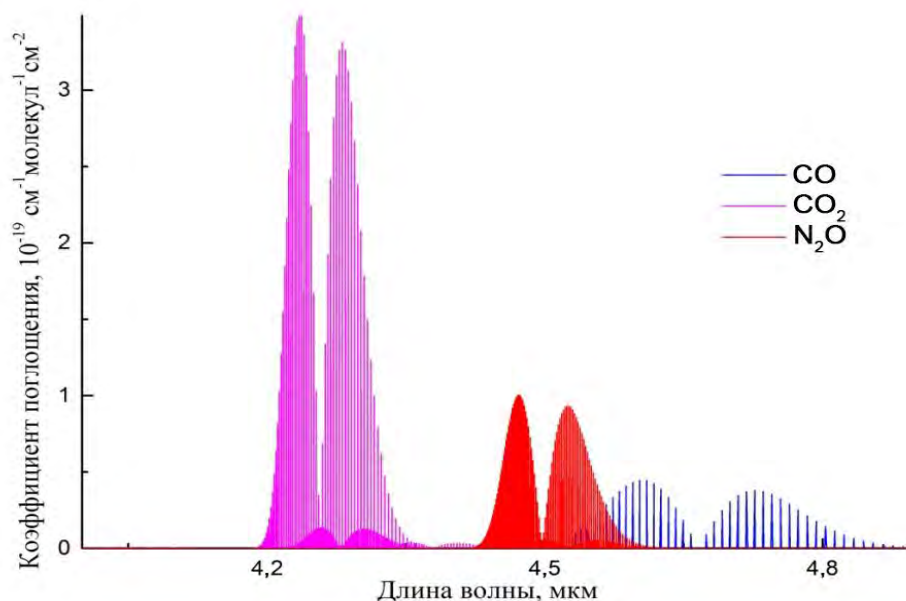


Рис. 4. Спектры поглощения основных парниковых газов в диапазоне от 4 до 5 мкм

Сопоставление спектров излучения полупроводниковых лазеров с GaInAsSb активной областью и дисковым резонатором с характерными спектрами поглощения метана и закиси азота представлены на рис. 5.

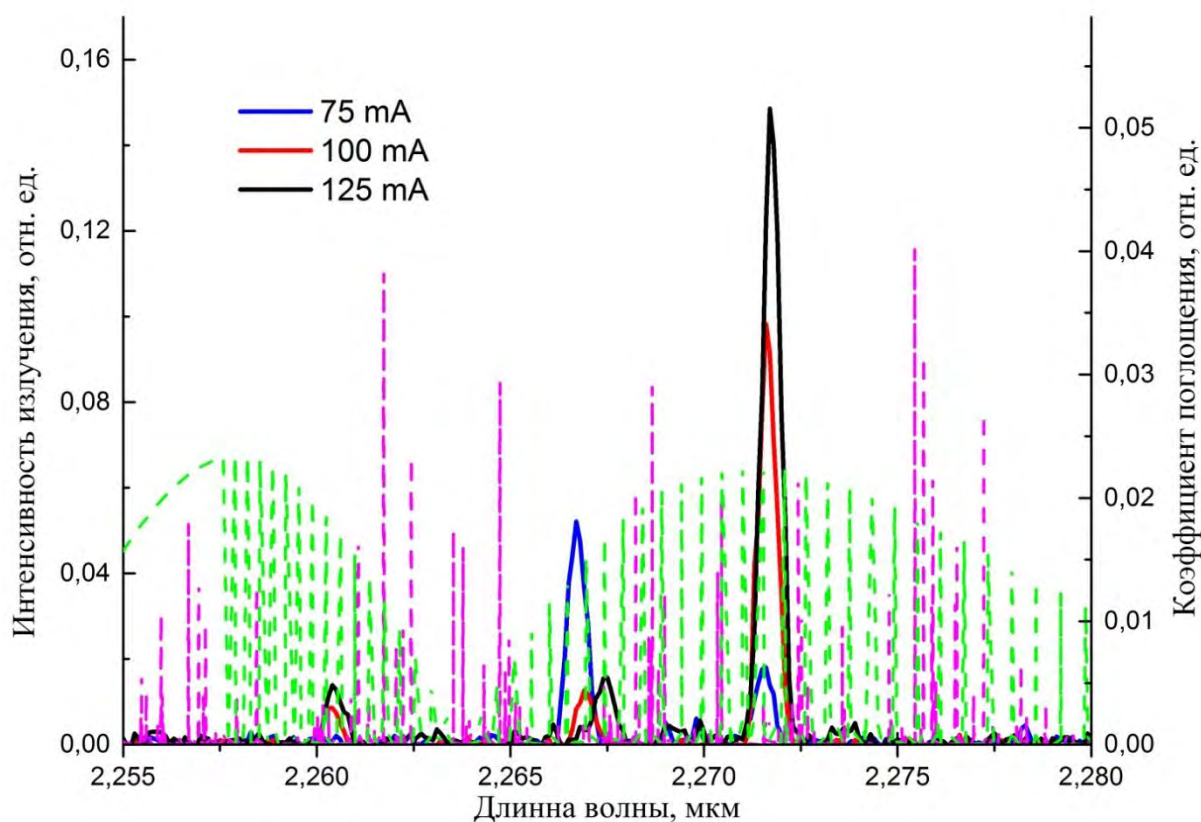


Рис. 5. Спектры поглощения метана и закиси азота, а также спектр излучения дискового лазера с GaInAsSb активной областью. Фиолетовым обозначен спектр метана (CH₄), зеленым – спектр закиси азота (N₂O)

Спектр излучения лазера получен в импульсном режиме на частоте следования импульсов $f = 10$ кГц, с длительностью импульса 2,7 мкс. Ток инжекции составлял 250 мА.

Также для детектирования больших концентраций нефти и нефтепродуктов в воде можно использовать светодиоды малой мощности (до 4 мВт в импульсном режиме [4]). Спектры излучения светодиода с GaInAsSb активной областью для детектирования нефти и нефтепродуктов в воде представлены на рис. 6.

В ходе экспериментального исследования спектров поглощения нефти и нефтепродуктов, а также спектров поглощения основных компонентов парникового газа, установлено что в области среднего ИК диапазона спектра присутствуют отдельно стоящие характерные полосы поглощения таких элементов, как: нефть и нефтепродукты – 1,75 мкм, метан – 2,4 мкм, закись азота – 2,3 мкм. Установлено, что для детектирования данных элементов в воде и атмосфере можно использовать лазерные диоды и светодиоды с GaInAsSb активной областью, имеющие спектры излучения в диа-

пазоне от 1,6 до 2,4 мкм в зависимости от мольного состава активной области.

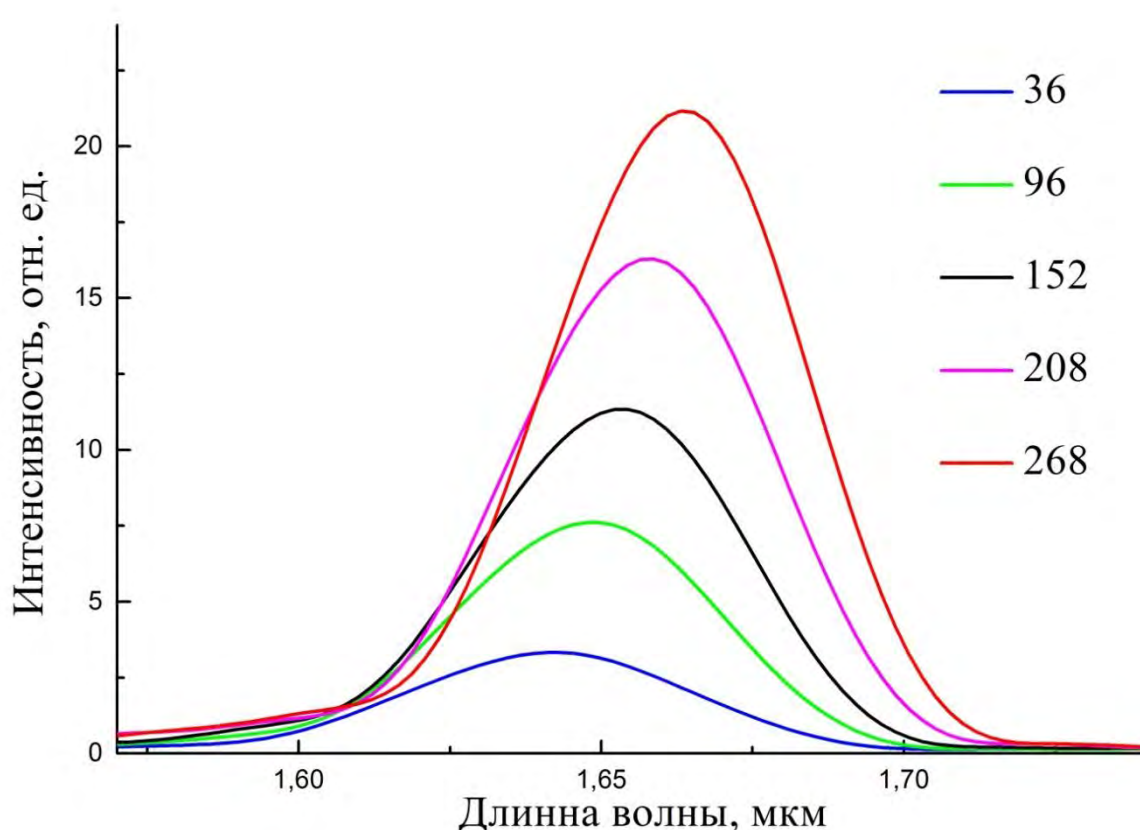


Рис. 6. Зависимость спектра излучения светодиодов с GaInAsSb активной областью от подаваемого тока

Использование новых полупроводниковых источников излучения среднего ИК диапазона спектра позволит создать высокоточные, энергоэффективные, быстродействующие и компактные приборы экологического и технологического мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портативный оптический анализатор содержания воды в нефти на основе оптопары «светодиодная матрица – широкополосный фотодиод» среднего ИК диапазона (1,6–2,4 мкм) / К. В. Калинина [и др.]. – 2010. – С. 1–6.
2. Измеритель содержания воды в нефти и нефтепродуктах на основе инфракрасных оптоэлектронных пар светодиод – фотодиод / М. В. Богданович [и др.]. – 2017 – Т. 17. – С. 20–23.
3. The HITRAN Database / Rothman L.S. –2015. – Modeofaccess: <http://hitran.org>– Dateofaccess: 30.03.17
4. http://www.ibsg.ru/led/led_1.html

E-mail: d.shabrov@ifanbel.bas-net.by