

Fraser

неоднородность распределения интенсивности люминесценции фитопланктона по вертикали. Колебания интенсивности свечения достигают 30% от среднего значения через 20—30 см. Отсутствие временных флуктуаций такой величины при зависании прибора на фиксированном горизонте дает основание предположить значительную временную стабильность мелкомасштабной стратификации фитопланктона в море.

Авторы выражают благодарность А. Б. Гавриловичу и М. Н. Борисевичу за консультации и измерения коэффициента рассеяния модельной среды.

Summary

The main requirements are stated to fluorimeters for investigations of fluorescent suspensions in the sea water.

Литература

1. Карабашев Г. С., Соловьев А. Н.— В кн.: Приборы и методы измерения оптических характеристик океана и атмосферы над океаном. М.: ИОАН СССР, 1975, с. 89—94.
2. Früngel F., Koch C.— IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1976, v. OE-1, N 1, p. 21—32.
3. Франк Н. А., Сидько Ф. Я., Луканев А. В., Апонасенко А. Д.— В кн.: Оптические методы изучения океанов и внутренних водоемов. Новосибирск: Наука, 1979, с. 300—303.
4. Brown N. S., French C. S.— Plant. Physiol., 1959, v. 34, N 3, p. 305—309.
5. Соловьев А. Н. Океанологические исследования.— М.: Наука, 1975, № 28, с. 58—61.
6. Стекло оптическое цветное. Технические условия. ГОСТ 9411-81.— М.: Изд-во стандартов, 1981.— 64 с.
7. Парамонов А. Н., Неуймин Г. Г., Сытников В. Ф., Харченко А. С.— В кн.: Приборы для измерения гидрофизических данных и методы их обработки. Киев: Наукова думка, 1966, с. 86.
8. Неуймин Г. Г.— Морские гидрофизические исследования, 1969, № 3 (45), с. 126—159.
9. Николаев В. П., Хулапов М. С.— В кн.: Оптика моря. М.: Наука, 1983, с. 129—137.
10. Pingree R. D., Pugh R. R., Holligan P. M., Poster G. K.— Nature, 1975, v. 258, N 5537, p. 672—677.
11. Карабашев Г. С., Соловьев А. Н.— Докл. АН СССР, 1975, т. 220, № 4, с. 858—960.
12. Карабашев Г. С., Соловьев А. Н.— Тр. ИОАН СССР, 1975, т. 102, с. 153—164.
13. Коблец-Мишке О. И., Ведерников В. И.— В кн.: Биология океана. М.: Наука, 1977, т. 2, с. 183—209.
14. Каралис В. Н. Флуоресцентные приборы. ТСА. Аналитические приборы и приборы для научных исследований. Обзорная информация.— М.: ЦНИИТЭЧП, 1978.— 30 с.
15. Костко М. Я., Киреев А. В., Думен Ю. В. и др.— ЖПС, 1981, т. 35, № 6, с. 120—1123.
16. Карабашев Г. С.— Океанология, 1979, т. 19, № 3, с. 468—475.

Поступило в редакцию 28.09.84.

БДК 543.27

Н. П. Есина, Н. В. Зотова, И. И. Марков, Б. А. Матвеев,
А. А. Рогачев, Н. М. Стусь, Г. Н. Талалакин

ГАЗОАНАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Абсорбционный анализ, основанный на оптическом поглощении электромагнитного излучения при его прохождении через анализируемую среду, относится к числу наиболее надежных, эффективных и универсальных методов определения состава сложных смесей (газообраз-

ных, жидких, а также включающих твердотельные компоненты в виде пыли, аэрозолей и т. д.).

Новые возможности в развитии этого метода открывает использование полупроводниковой элементной базы, а именно применение твердотельных источников и приемников излучения. Достоинствами полупроводниковых светодиодов являются высокий внешний квантовый выход, обусловленный применением материалов с прямой структурой энергетических зон, селективность излучения, незначительное потребление

мощности и возможность электрической модуляции излучения в широком диапазоне частот.

В последнее время были созданы светодиоды на основе узкозонных твердых растворов полупроводниковых соединений A^3B^5 , излучающие в ближней ИК области спектра [1—3]. Путем управления составом твердого раствора в этих светодиодах удалось подавить безызлучательную оже-рекомбинацию и получить эффективные источники излучения, работающие в ближней ИК области спектра при комнатной температуре.

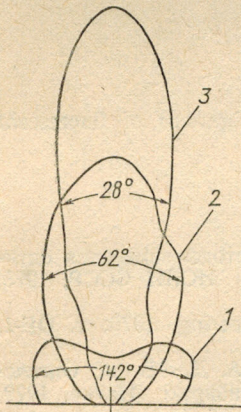


Рис. 1. Диаграмма направленности излучения светодиодов

В данной работе рассматривается конструкция анализатора для определения концентрации газов в их смесях. В качестве рабочей схемы анализатора была выбрана дифференциальная схема с селективными источниками и неселективным детектором излучения. Источниками излучения служили светодиоды из полупроводникового твердого раствора, детектором — промышленный фотоприемник СФ4-12. Материалом для изготовления светодиодов являлись твердые растворы $InGaAs$, $InAsSbP$, ширина запрещенной зоны (E_g) которых перекрывает спектральный диапазон 1—12 мкм [4, 5].

Нами были получены светодиоды, излучающие в интервале длин волн 2,6—4,7 мкм (300 К). Структуры для светодиодов выращивались методом жидкофазной эпитаксии на подложках $InAs$ n - и p -типа с концентрацией носителей тока $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Плотность дислокаций в лучших эпитаксиальных структурах составляла $5 \cdot 10 \text{ см}^{-2}$.

Результаты измерений оптического поглощения и фотолюминесценции (ФЛ) показали, что коэффициент поглощения при $h\nu < E_g$ возрастает экспоненциально с характеристической энергией $\epsilon \approx 8 \text{ мэВ}$ и спектры ФЛ состоят только из «краевой» полосы [6]. По спектрам ФЛ определялась ширина запрещенной зоны и ее градиент, необходимые для локализации p — n -перехода в излучающих структурах с заданными спектральными характеристиками. Эпитаксиальные слои $InGaAs$ имели постоянные в направлении роста состав и E_g ; слои $InAsSbP$ были градиентными [7], причем ширина запрещенной зоны в них плавно уменьшалась к поверхности слоя.

Диодные структуры создавались путем легирования p -области цинком или марганцем в процессе эпитаксиального выращивания, а n -область представляла собой слой нелегированного твердого раствора. Готовые n — p -структуры с вплавленными контактами покрывались сверху халькогенидным стеклом, имеющим показатель преломления, средний между показателями преломления воздуха и полупроводника. Это увеличивает угол полного внутреннего отражения и дополнительно в 3 раза повышает внешний квантовый выход светодиода. На рис. 1 представлена диаграмма направленности светодиодов с покрытием, имеющим вид усеченного эллипсоида с разным соотношением линейных раз-

меров эллипсоида и светодиода: светодиод без покрытия (кривая 1); 1 : 4 и 1 : 6 (кривые 2 и 3).

На рис. 2 приведены спектры электролюминесценции (ЭЛ), измеренные при 300 К для светодиодов, изготовленных на основе твердых растворов $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ и $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y$. Для случая $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ с возрастанием номера кривой концентрация x уменьшается, а для $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y$ величина x увеличивается; концентрация y при этом уменьшается. Видно, что излучение светодиодов перекрывает полосы поглощения таких газов, как метан (3,32 мкм), H_2S (3,8 мкм), SO_2 (3,9 мкм), NO_2 (4,05 мкм), CO_2 (4,27 мкм). Спектры ЭЛ характеризуются излучательными переходами «зона проводимости — акцепторный уровень». Коротковолновый спад спектра — экспонента с характеристической энергией kT . Полуширина спектров ЭЛ равна примерно 30 МэВ ($\Delta\lambda_{1/2} \approx 0,3-0,4$ мкм).

Мощность излучения светодиодов при питании постоянным током составляет ~ 200 мВт, а в импульсном режиме достигает нескольких мВт. При испытании работы светодиода на стабильность изменение интенсивности излучения в течение 5000 ч не превышало 50%.

На рис. 3 представлена функциональная схема газоанализатора.

Оптическая схема анализатора 4 содержит диспергирующий элемент — дифракционную решетку (200 штрихов) размером 60×60 мм, а также сферическое зеркало, фокусирующее излучение с выделенной длиной волны на фотоприемник СФ4-12. Решетка и зеркало расположены внутри кюветы с анализируемым газом. При размерах кюветы $350 \times 250 \times 150$ мм оптический ход лучей составляет 1 м, а оптическое разрешение 0,02 мкм.

В процессе работы газоанализатора происходит сравнение прошедших через газовую смесь основного и опорного лучей светодиодов. Длина волны опорного луча лежит вне полосы поглощения исследуемого газа, а основного — в максимуме этой полосы. Газоанализатор имеет блок импульсного питания с $f=30$ Гц и $\tau=20$ мкс и импульсный синхронный детектор.

Газоанализатор имеет общий размер $380 \times 230 \times 200$ мм и потребляет мощность порядка 4 Вт. Прибор испытан на пробах, содержащих метан, при этом рабочий диод имел длину волны 3,32 мкм, а опорный — 3,5 мкм. Порог обнаружения метана по концентрации не превышает 0,002 мол.%. При концентрации метана в пробе 0,2% отношение сигнал/шум состав-

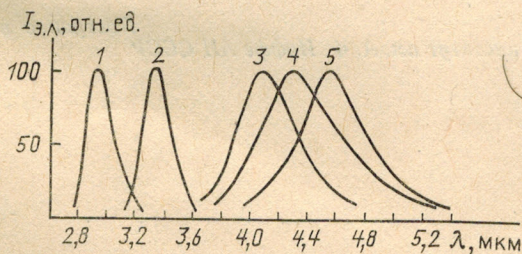


Рис. 2. Спектры электролюминесценции светодиодов при 300 К, изготовленных на основе твердых растворов $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ (1, 2) и $\text{InAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y$ (3-5) разного состава

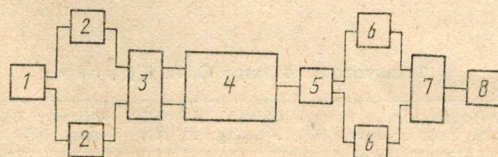


Рис. 3. Функциональная схема газоанализатора: 1 — генератор и блок переключения каналов; 2 — усилитель; 3 — светодиод; 4 — оптическая схема; 5 — фотоприемник; 6 — синхронный детектор; 7 — усилитель постоянного тока; 8 — блок индикации

ляет 50. Пределы измерения метана лежат в интервале 0,004—10 мол. %.

Большой запас чувствительности и высокое отношение сигнал/шум позволяют значительно уменьшить габариты прибора и создать портативный газоанализатор с широкими функциональными возможностями, например для определения концентрации нефтепродуктов в воде (аналитическая длина волны 3,42 мкм).

Испытания показали, что газоанализатор, разработанный на основе наших светодиодов, обладает высокими техническими характеристиками и может найти применение в горнорудной, химической промышленности, а также как средство контроля за чистотой окружающей атмосферы и водной среды.

Summary

A gas detection unit provides for the measurement of the concentrations of methane and some other gases. The system operates when the gases studied have infrared absorption lines in the 2.6—3.9 μm range.

The basic element of the unit involves optron pairs consisting of semiconductor light emitting diodes and a photodetector.

A grating and concave mirror, placed directly in a gas mixture, are employed in the present work. Light from emitters travels 100 cm and is received by a PbSe detector, which yields signals in measuring and controlling channels.

The test unit measures $350 \times 250 \times 150 \text{ mm}^3$, with the overall power consumption amounting to about 4 W. The methane detection limit of the analyzer is as low as 0.002 mol. %. The response of the unit to 0.2% CH_4 has a signal to noise ratio of 50, the testing range is 0.004—10 mol. % CH_4 .

The gas detection unit is planned to be used in coal mines, chemical industry and atmosphere monitoring.

Литература

1. Есина Н. П., Зотова Н. В., Матвеев Б. А. и др.—Тез. докл. на III Всесоюзной конф. по физ. процессам в полупроводн. гетероструктурах. Одесса, 1982, с. 133.
2. Gerritsen H. J.—Proc. of the Sec. W. V. V. Conf. on Coal Mine Electrotechnology, 1974, June, p. 12—14.
3. Есина Н. П., Зотова Н. В., Матвеев Б. А. и др.—Письма в ЖТФ, 1983, т. 9 № 7, с. 391—393.
4. Kobayashi N. and Horikoshi J.—Jap. J. Appl. Phys., 1981, v. 20, N 12, p. 2301—2305.
5. Wu T. Y. and Pearson G. L.—Phys. Chem. Solids. 1972, v. 33, N 2, p. 409—415.
6. Есина Н. П., Зотова Н. В., Матвеев Б. А. и др.—ФТП, 1981, т. 15, № 12 с. 2362—2365.
7. Есина Н. П., Зотова Н. В., Матвеев Б. А. и др.—Тез. докл. на III Всесоюзной конф. по физ. процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Одесса, 1982, с. 38.

Поступило в редакцию 31.01.84

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе АН СССР

Технический редактор С. А. Курган

Сдано в набор 18.01.85. Подписано в печать 04.04.85. АТ 07527. Формат 70×108¹/₁₆. Высокая печать. Усл. печ. л. 15,40. Усл. кр.-отг. 16,1. Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 1856 экз. Зак. № 137.

Издательство «Наука и техника» Академии наук БССР и Государственного комитета БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220600. Минск, Ленинский проспект, 68. Типография им. Франциска (География) Скорины издательства «Наука и техника». 220600. Минск, Ленинский проспект, 68.