

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ИК СПЕКТРОМЕТР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИОДНЫХ ЛАЗЕРОВ

Ю.В. Косичкин, Н.В. Лемехов, А.И. Надеждинский, С. Пенчев, Е.В. Степанов, А.Р. Радионов

В работе описан ИК спектрометр высокого разрешения на основе диодных лазеров и элементов волоконной оптики. Зарегистрирован спектр поглощения паров цезия в области 0,85 мкм. Обсуждены возможности и перспективы применения подобных спектрометров в молекулярной спектроскопии и газоанализе.

Основные тенденции развития методов диодной лазерной спектроскопии указывают на перспективность этого направления исследований при решении ряда задач, связанных с газоанализом, атмосферным мониторингом, контролем процессов горения, технологией сверхчистых материалов. Преимущества диодных лазеров (ДЛ), используемых в качестве источника излучения, обусловлены легкостью управления параметрами излучения ДЛ, высокой степенью когерентности излучения, широким диапазоном перестройки частоты. Пространственные характеристики излучения ДЛ, определяемые дифракционной расходимостью, обеспечивают как использование протяженных открытых трасс (более 1 км), так и достаточно эффективное введение излучения в волоконные световоды, в том числе одномодовые.

При решении ряда проблем спектроскопии и газоанализа с помощью диодных лазеров было бы желательным в целях существенного упрощения традиционно применяемой оптической схемы лазерного спектрометра [1] использовать элементы волоконной оптики. Цель данной работы состояла в демонстрации принципиальной возможности применения волоконных световодов в сочетании с диодными лазерами для целей спектроскопии высокого разрешения и газоанализа на ее основе. При этом основное внимание уделялось сохранению перестроечных характеристик и необходимой высокой разрешающей способности диодного лазера, а также чистоте модового состава излучения.

Схема оптоволоконного спектрометра на основе диодных лазеров показана на рис. 1. В качестве механизма, обеспечивающего широкодиапазонную перестройку частоты спектрометра, использовалась зависимость длины волны излучения лазерного диода от его температуры. Лазер крепился на хладопроводе специального криостата, предназначенного для охлаждения посредством погружения в транспортный сосуд с криогенной жидкостью (азот или гелий). Вблизи лазера на хладопроводе помещались датчики и нагреватели системы температурной стабилизации, в качестве которых, как и в работе [2], использовались транзисторы. Для стабилизации температуры использовалась электронная схема, также описанная в [2] и позволяющая с точностью $\sim 10^{-3}$ К поддерживать температуру хладопровода в диапазоне от 10 до 300 К.

Лазерное излучение вводилось в оптическое волокно, которое вместе с электрическими проводами систем электронной накачки лазера и стабилизации температуры выводилось из криостата через элементы вакуумного уплотнения. Излучение, выходящее из волоконного световода, с помощью линзы коллимировалось в параллельный пучок, пропускалось через кювету с исследуемым веществом и затем фокусировалось на щель монохроматора МДР-2, где проводилась частотная селекция. Далее сфокусированное излучение детектировалось с помощью фотоприемника.

В конкретной реализации спектрометра для простоты проведения эксперимента использовались лазеры ближнего ИК диапазона (GaAs с частотой генерации вблизи 0,85 мкм) и кварцевое многомодовое волокно с толщиной центральной жилы $\cong 50$ мкм и разницей показателей преломления $\cong 0,01$. Длина волокна составляла $\cong 3$ м. Для детектирования излучения ближнего ИК диапазона использовался р-і-п-диод с временем быстрого действия $\cong 30$ нс.

Накачка диодного лазера производилась прямоугольными импульсами тока длительностью $10 \div 100$ мкс и частотой повторения ~ 100 Гц. Амплитуда токовых импульсов составляла $0,2 \div 4$ А в зависимости от используемого образца и рабочей температуры кристалла. За счет разогрева области р-п-перехода лазерного диода в течение импульса тока осуществляется тонкая перестройка частоты в диапазоне $1 \div 10$ см $^{-1}$.

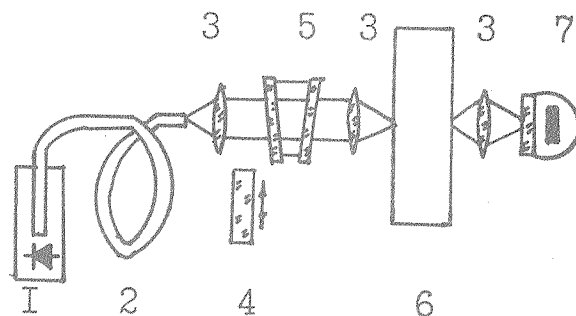


Рис. 1. Схема волоконно-оптического спектрометра на основе диодных лазеров: 1 – лазер в криостате, 2 – волоконный световод, 3 – линзы, 4 – интерферометр Фабри – Перо, 5 – кювета с исследуемым веществом, 6 – монохроматор, 7 – фотоприемник.

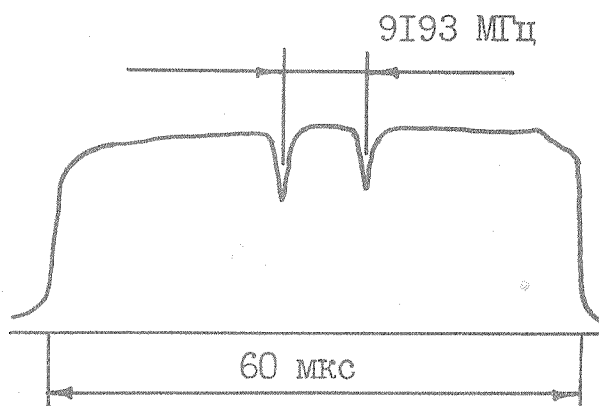


Рис. 2. Спектр поглощения паров ^{133}Cs вблизи $\lambda \approx 0,8521$ мкм, D_2 – линия, полученная с помощью волоконно-оптического спектрометра.

Для записи получаемых спектров, как обычно при импульсно-периодическом режиме накачки ДЛ, использовалась стробоскопическая система регистрации /1/. Широкодиапазонная перестройка частоты лазера в интервале $\sim 1000 \text{ см}^{-1}$ осуществлялась посредством изменения температуры в криостате от 10 до 300 К.

Для демонстрации разрешения описанного выше спектрометра был зарегистрирован спектр поглощения паров цезия в области 0,8521 мкм (D_2 – линия), представляющий собой дублет с расстоянием между компонентами $0,3064 \text{ см}^{-1}$. Этот участок спектра сверхтонкой структуры паров цезия неоднократно ранее исследовался с помощью диодных лазеров ближней ИК области на основе GaAs /3,4/. Полученный спектр (рис. 2) позволяет заключить, что при используемых параметрах световода разрешение спектрометра заметно не ухудшается и составляет не более 10^{-2} см^{-1} .

Особое внимание уделялось анализу изменений модового состава регистрируемого излучения. В случае, если не использовался монохроматор, наблюдалось существенное увеличение количества одновременно регистрируемых мод. Это приводило к увеличению интегральной интенсивности принимаемого сигнала и относительному снижению величины резонансного поглощения. Такой эффект объясняется тем, что благодаря близкому расположению входного торца световода и лазера, обеспечивающему эффективный ввод излучения в волокно, одинаково эффективно вводится излучение различных каналов генерации лазерного диода. В традиционной схеме спектрометра /1/ излучение разных каналов обычно селективируется пространственно за счет ограничения апертурой коллимирующей линзы. Введение в схему монохроматора позволяет устранить нежелательные лазерные моды, поскольку они отличаются по частоте.

Влияние дисперсии излучения в световоде при используемой длине (~ 3 м) существенно не искажает спектр и временное распределение лазерного импульса. Как показывают оценки, даже в случае многомодового волокна, подобного использованному в данной работе, этот фактор можно не принимать во внимание при длинах световода в несколько сот метров. Это обусловлено тем, что характерное время сканирования линии поглощения Cs составляет ~ 1 мкс, что на несколько порядков превышает время запаздывания между волноводными модами.

Таким образом, использованная здесь схема оптоволоконного спектрометра, сохраняя все достоинства традиционных диодных лазерных спектрометров, позволяет получать ряд важных преимуществ. Во-первых, значительно упрощается система охлаждения и термостабилизации диодных лазеров, во-вторых, применение элементов волоконной оптики существенно расширяет возможности построения оптических схем спектрометров и газоанализаторов на основе диодных лазеров, появляется возможность дополнительной коммутации ИК-излучения и введения его в труднодоступные и удаленные от источника места. Особо ценными данные свойства являются при решении прикладных задач, в частности, создании приборов для многокомпонентного газоанализа.

К числу объектов, перспективных для исследований с помощью подобного спектрометра, помимо паров щелочных металлов могут относиться молекулы, имеющие составные полосы или обертоны основных полос поглощения в ближнем ИК диапазоне. В этот же спектральный диапазон попадают оптические переходы в возбужденных атомах. Применение диодных лазеров на солях свинца, излучающих в среднем ИК диапазоне от 3 до 40 мкм /5/, и волоконных световодов на основе халькогенидных стекол /6/ и соединений галлия (типа KRS), прозрачных в этом диапазоне, позволит расширить диапазон длин волн, в котором возможно функционирование подобных оптоволоконных спектрометров, и таким образом значительно увеличит число возможных объектов исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Косичкин Ю.В., Надеждинский А.И. Изв. АН СССР, сер. физ., 47, № 10, 2037 (1983).
2. Косичкин Ю.В. и др. Приборы и техника эксперимента, № 4, 228 (1983).
3. S i a h a t g a r S., H o c h u l i U. E. IEEE J. Quant. Electr., QE-5, 295 (1969).
4. Бывковский Ю.А. и др. Оптика и спектроскопия, 30, 508 (1971).
5. S h o t o v A. P. Proc. of 4th Conf. on Solid State Devices. Tokyo, 1972. Suppl. J. Japan. Soc. Appl. Phys., 42, 282 (1973).
6. Д и а н о в Е. М. и др. Квантовая электроника, 12, № 10, 2167 (1985).

Поступила в редакцию 4 августа 1986 г.