

06;07;12

Волоконно-оптический датчик на основе диодного лазера среднего инфракрасного диапазона и акустооптического модулятора

© Н.В. Зотова, С.А. Карандашев, Л.А. Кулакова, Б.А. Матвеев,
Б.Т. Мелех, Н.М. Стусь, Г.Н. Талалакин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 10 июня 1997 г.

Приводятся данные об инфракрасном датчике на основе полупроводникового инжекционного лазера с длиной волны излучения $3.3 \mu\text{m}$, сопряженного с акустооптическим модулятором на базе аморфного сплава Si-Te с помощью халькогенидного волокна.

Коэффициент модуляции излучения достигает 70% при длительности импульса $\geq 0.3 \mu\text{s}$, что позволяет использовать датчик для целей газового анализа.

Детектирование газов с применением методов оптической и акустической спектроскопии наиболее эффективно в средней инфракрасной области спектра ($3-5 \mu\text{m}$), где имеются полосы поглощения многих веществ и для которой в настоящее время разработаны инжекционные лазеры и светодиоды, обладающие достаточно большой мощностью излучения и большим сроком службы. Однако в среднем инфракрасном диапазоне спектра существует ограниченный набор средств модуляции оптического сигнала, и поэтому представляют интерес данные о быстродействующих амплитудных модуляторах и датчиках, которые можно было бы применить в полосе частот, обычно используемых при оптико-акустическом анализе газовой среды.

В качестве источника излучения был использован диодный лазер с широким контактом размерами $1000 \times 150 \mu\text{m}$ на основе двойной гетероструктуры InGaAsSb/InAsSbP, полученной методом жидкофазной эпитаксии в условиях высокой пластичности подложки InAs [1].

Ватт-амперные характеристики исследованных лазеров имеют обычный для ДГС лазеров вид, при этом дифференциальная квантовая

эффективность при 77 К достигает 30%, а внешний квантовый выход $\sim 20\%$. Излучаемая мощность в импульсном режиме при $I = 10I_{th}$ (многомодовый режим) достигает 0.25 W, а в непрерывном режиме ($I = 2I_{th}$) — 6 mW.

Установка для измерений включает в себя криостат с вмонтированным в нем лазером на длину волны $3.3 \mu\text{m}$, состыкованным с волокном на основе As_2S_3 диаметром $500 \mu\text{m}$, акустооптический модулятор, газовую кювету и охлаждаемый фотодиод на основе InSb , имеющий приемную площадку $0.5 \times 0.5 \text{ mm}$. Волокно было получено в Институте высокочистых веществ РАН и имело потери на уровне 50 dB. При длине волокна 1 m мощность светового импульса ($\tau = 5 \mu\text{s}$) на выходном торце составляла $\sim 40 \text{ mW}$. Аналогичный лазер имел перестройку длины волны в пределах $3.28\text{--}3.34 \mu\text{m}$ (78–136 K) без существенного изменения мощности излучения и был использован нами для детектирования углеводородов [2]. При этом полученные с помощью лазера спектры пропускания смесей метана с азотом (1 и 2% CH_4) имели минимум в области основной полосы поглощения при $n = 3018.9 \text{ cm}^{-1}$, что позволило отделить метан от других веществ.

Для модуляции лазерного излучения используется созданный нами акустооптический модулятор на основе аморфного сплава Si–Te. В ячейку размерами $\sim 5 \times 5 \times 5 \text{ mm}$ с помощью пьезоэлектрического преобразователя вводится звуковая волна. Модуляция оптического излучения осуществляется за счет брэгговской дифракции на ультразвуковой волне. Ранее [3] нами были получены рекордные результаты при работе этого модулятора с газовым CO лазером. Для исследования акустооптических свойств этого сплава в диапазоне длин волн $\lambda = 3.39 \mu\text{m}$ нами использовался He–Ne лазер. Измеренное значение акустооптической добротности материала в исследуемом диапазоне оказалось немногим меньше, чем при длине волны $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$. Благодаря этому уже при акустической мощности 0.85 W глубина модуляции He–Ne лазера достигает $\sim 90\%$.

Как показывают наши исследования, использование акустооптического модулятора на основе сплава Si–Te для управления излучением полупроводникового лазера оказывается также весьма эффективным, несмотря на большую расходимость пучка. Это является следствием высокого коэффициента преломления сплава Si–Te ($n = 3.3$), что существенно уменьшает расходимость пучка внутри акустооптической ячейки и увеличивает эффективность взаимодействия. Последнее об-

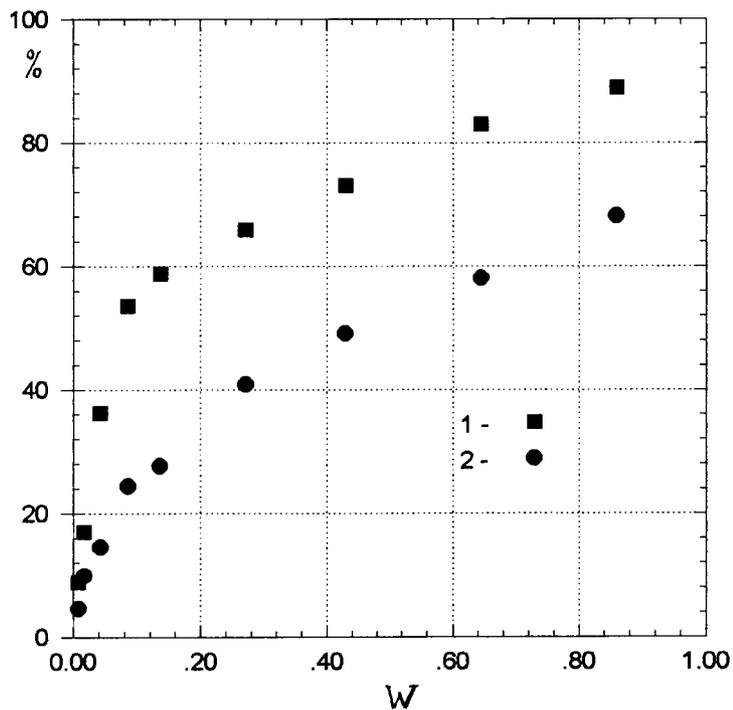


Рис. 1. Зависимость глубины модуляции излучения газового (1) и полупроводникового (2) лазеров от мощности акустической волны.

стоятельность в сочетании с оптимальными размерами акустического излучателя (2×3 mm) и частотой звука (41 Hz) позволило нам достичь параметров акустооптического модулятора, близких к полученным при работе этого модулятора с узконаправленным He-Ne лазером, как это видно из рис. 1, без применения дополнительной фокусирующей оптики.

Измерения, проведенные при токах лазера 0.6–1 A и частотах повторения 60–100 Hz, показали, что введение звуковой волны в акустооптический модулятор приводит к существенному уменьшению уровня выходного излучения, как это видно из рис. 2. Длительность фронта импульса модуляции имеет величину $\tau = 0.3 \mu\text{s}$, что позволяет

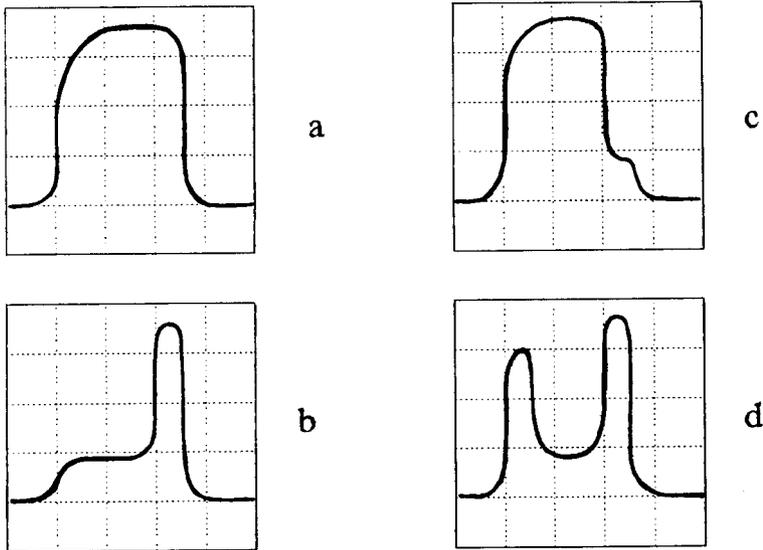


Рис. 2. Форма светового импульса в зависимости от длительности τ_{ac} импульса акустической волны и времени τ_r его задержки относительно импульса света: *a* — $\tau_{ac} = 0 \mu s$, $\tau_r = 0 \mu s$; *b* — $\tau_{ac} = 4 \mu s$, $\tau_r = 0 \mu s$; *c* — $\tau_{ac} = 1 \mu s$, $\tau_r = 4 \mu s$; *d* — $\tau_{ac} = 3 \mu s$, $\tau_r = 1 \mu s$. Временная развертка $2 \mu s/\text{interval}$.

создавать относительно короткие оптические импульсы длительностью до $1 \mu s$.

Изменяя время задержки акустического импульса относительно светового, можно выделять требуемый участок (см. рис. 2). Это важно при больших токах инжекции, когда в течение импульса происходит изменение длины волны излучения за счет токового разогрева лазера. Дополнительная модуляция с помощью акустооптического модулятора позволяет выделить короткий сигнал "монохроматического" излучения с нужной длиной волны в пределах, определяемых импульсным разогревом лазера.

В некоторых случаях один и тот же лазер может иметь разный знак перестройки длины волны при импульсном и непрерывном режимах. В

этом случае применение описанного модулятора позволит расширить спектральный диапазон для анализа веществ.

Описанный датчик может быть использован для детектирования метана и других углеводородов, имеющих пик поглощения при $3.3 \mu\text{m}$. Преимущество по сравнению с оптическими [4] и акустическими [5] датчиками углеводородов, использующими инфракрасные светодиоды, состоит в большей мощности излучения источника и большей эффективности ввода излучения в волокно, а также в возможности получения модулированного сигнала как в непрерывном, так и в импульсном режимах работы источника.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность эффективной модуляции пучка излучения с длиной волны $3.3 \mu\text{m}$, расходящегося с торца волокна, что может быть использовано при создании волоконно-оптических датчиков на основе диодных лазеров и акустических или фотонных приемников сигнала для регистрации веществ, полосы поглощения которых лежат в средней инфракрасной области спектра.

В заключение авторы выражают признательность М. Айдаралиеву за помощь в изготовлении лазеров и М.Ф. Чурбанову за предоставленный образец волокна.

Работа поддержана МНТП "Оптика. Лазерная физика".

Список литературы

- [1] *Аргунова Т.С., Кюмм Р.Н., Матвеев Б.А.* и др. // ФГТ. 1994. Т. 36. В. 10. С. 3071–3078.
- [2] *Aidaraliev M., Zotova N.V., Karandashov S.A.* et al. // Infrared Physics & Technology. 1996. V. 37. P. 83–86.
- [3] *Илисовский Ю.В., Кулакова Л.А., Мелех Б.Т., Яхкин Э.З.* // Акустич. журн. 1994. Т. 40. В. 2. С. 307–308.
- [4] *McCabe S., MacCraith B.D.* // Electr. Lett. 1993. V. 29. N 19. P. 1719–1721.
- [5] *Jaw W. Chey, Peter Sultan, Hendrik J. Gerritsen* // Appl. Optics. 1987. V. 26. N 16. P. 3192–3194.