

Усилители яркости для систем формирования изображений в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра

П.И. Гембух
Институт оптики атмосферы им.
В.Е. Зуева (ИОА СО РАН)
Томск, Россия
gembukh.pavel@ya.ru

Д.В. Шиянов
Институт оптики атмосферы им.
В.Е. Зуева (ИОА СО РАН)
Томск, Россия
qel@iao.ru

М.В. Тригуб
Институт оптики атмосферы им.
В.Е. Зуева (ИОА СО РАН)
Томск, Россия
trigub@iao.ru

Аннотация — В работе представлены результаты разработки и исследования усилителя яркости на самоограниченных переходах атома марганца для активных оптических систем скоростной визуализации. Особенностью усилителя является усиление излучение как в видимой области спектра, так и в ближней ИК. Рассмотрены усилительные характеристики среды на переходах атома марганца отдельно в двух диапазонах спектра.

Ключевые слова — лазеры на парах металлов, усилительные характеристики, системы визуализации

1. ВВЕДЕНИЕ

Лазерные системы в настоящее время являются мощным инструментарием в различных сферах жизни: от производственных процессов до научных исследований. Лазеры на парах металлов за счёт комбинации своих свойств, таких как: высокая интенсивность лазерного излучений, высокая однородность среды и высокого коэффициента усиления [1], нашли своё применения в области визуализации быстропротекающих процессов, сопровождающихся сильной фоновой засветкой. Оптическая система для наблюдения таких процессов получила название лазерный монитор [2]. В работах [3–4] продемонстрированы возможности монитора при наблюдении различных процессов: сварки, производства нанопорошков, процесс горения и др. В данных работах в качестве активной среды использовался бромид меди (CuBr). Атом меди неплохо изучен, обладает самым большим коэффициентом усиления среди изученных металлов и формирует излучения с длинами волн 510,6 нм и 578,2 нм [5]. Тем не менее существуют задачи, в которых более информативным является использование излучения других спектральных диапазонов. Например, исследование развития пробоя в оптических кристаллах, непрозрачных в видимом диапазоне спектра: ZGP, где более эффективно излучение ближнего ИК диапазона. Для получения излучения в ИК диапазоне можно использовать активные среды, основанные на других металлах, например, стронций [6] или марганец [7].

Марганец, за счёт комбинации своих атомных переходов (рис. 1) является перспективным элементом для использования его в лазерном мониторе. Он способен усиливать оптические сигналы как в видимом ($\lambda_1 = 534,1$ нм; $\lambda_2 = 542,0$ нм), так и ближнем ИК-диапазоне ($\lambda_3 = 1,289$ мкм; $\lambda_4 = 1,332$ мкм; $\lambda_5 = 1,362$ мкм) спектра. А современное развитие камер с сенсорами на основе гетероструктур InGaAs на подложке InP позволяет регистрировать изображение в ИК области с последующей обработкой и анализом с

помощью ПК. Поэтому разработка эффективных усилителей яркости является актуальной задачей, успешное решение которой позволит создавать оптические системы диагностики и контроля видимого и ближнего ИК диапазонов спектра.

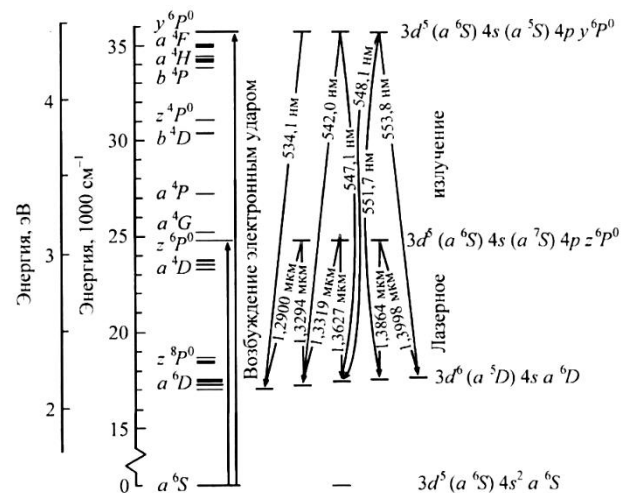


Рис. 1. Атомные переходы марганца

2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ СРЕДЫ НА ПЕРЕХОДАХ АТОМА МАРГАНЦА

В работе исследования проводились с использованием газоразрядной трубки (ГРТ) с длиной активной зоны 50 см, диаметром 2 см, объемом 157 см³. В качестве активного вещества в данной работе использовался хлорид марганца (MnCl₂). Использование галогенида металла позволяет создать требуемое давление паров рабочего вещества при меньших температурах, чем в случае использования чистого металла. Частота работы лазера во всех проведённых экспериментах составляла 17 кГц. Мощность источника возбуждения составляла 1380 Вт при этом максимальная мощность лазерного излучения по всем линиям составила 715 мВт, а мощность сверхизлучения 30 мВт (17 мВт для видимого диапазона и 9 мВт для ИК)

Для оценки усилительных свойств среды на переходах атома марганца была исследована зависимость выходного сигнала усилителя от входного. Для этого была собрана оптическая схема, представленная на рис. 2.

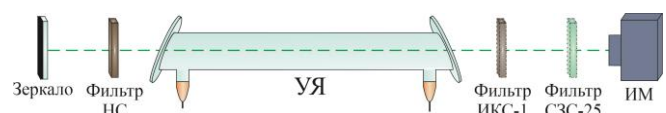


Рис. 2. Схема для исследования усилительных характеристик

Сверхсветимость усилителя проходит через нейтральный светофильтр, попадает на «глухое» зеркало, отражается от него, снова проходит через нейтральный светофильтр (типа НС) и попадает в активную среду. В активной среде излучение усиливается, и мощность однопроходowego излучения фиксируется измерителем мощности Ophir Vega. Для выделения видимого диапазона и ИК-диапазона использовались светофильтры СЗС-25 и ИКС-1 соответственно. Коэффициент усиления в этом случае можно определить по формуле:

$$P_{IN} = 0,8 \cdot P_0 \cdot \delta^2, \quad (1)$$

где P_{IN} – мощность входного излучения, P_0 – мощность сверхизлучения, δ – коэффициент пропускания фильтра, рассчитанный для ИК и для видимого диапазона, 0,8 – коэффициент отражения от «глухого» зеркала.

На рис. 3 представлены зависимости коэффициента усиления и мощности однопроходowego излучения от входной мощности усилителя для двух диапазонов спектра.

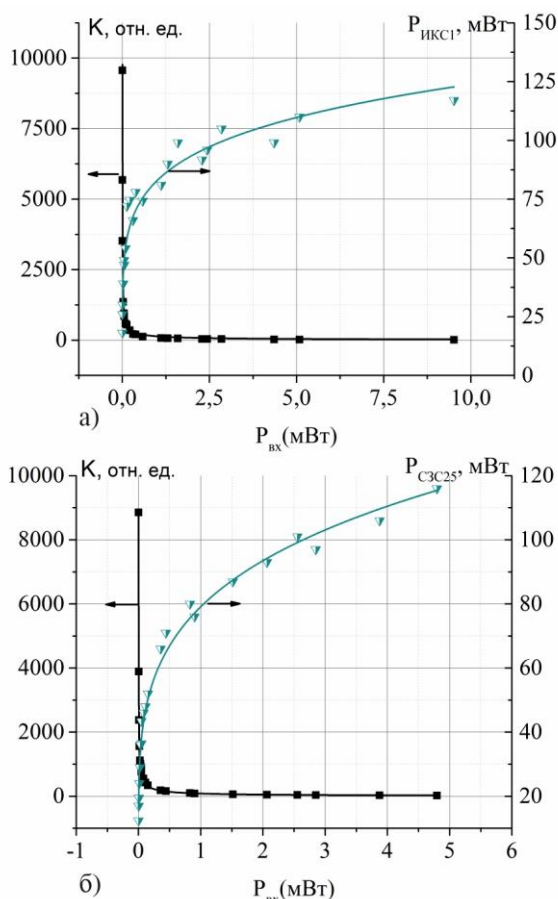


Рис. 3. Усиленные характеристики среды а) ближний ИК диапазон, б) видимый диапазон спектра

Полученные характеристики качественно совпадают с характеристиками усилителя яркости на переходах атома меди [8].

Коэффициент усиления малого сигнала достигает $2,4 \cdot 10^4$ в случае выделения излучения фильтром ИКС-1. Минимальная мощность входного сигнала, который ещё усиливается активной средой равна $77 \cdot 10^{-5}$ мВт, что составляет менее 0,004% от мощности сверхизлучения.

Для видимого диапазона (фильтр СЗС-25), коэффициент усиления также равен $2,4 \cdot 10^4$. Минимальная мощность входного сигнала в этом случае равна $40 \cdot 10^{-5}$ мВт, что составляет 0,004% от мощности сверхизлучения.

Полученные результаты позволяют утверждать о возможности реализации усилителей яркости на парах хлорида марганца одновременно в двух диапазонах спектра. Стоит отметить, что мощность излучения была относительно мала, предположительно это связано с низким энергетическим вкладом в разряд, повышение энергетического вклада возможно при использовании электроотрицательной добавки водорода.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены результаты исследования активной среды на переходах атома марганца. Исследование усилительных характеристик показало, что данная среда потенциально может быть использована для усиления изображения в схеме лазерного монитора. При этом минимальная входная мощность, которая может быть усилена составил $77 \cdot 10^{-5}$ мВт или 0,004% от мощности сверхизлучения для ИК диапазона спектра и $40 \cdot 10^{-5}$ мВт, что составляет 0,004% от мощности сверхизлучения для видимого диапазона.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию режима работы и реализацию оптической схемы для одновременной визуализации в видимой и ближней ИК области спектра.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект № 19-79-10096-П.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Little, C.E. Metal Vapour Lasers: Physics, Engineering and Applications / C.E. Little // Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1999. – 646 p.
- [2] Асиновский, Э.И. Исследования областей замыкания тока на электродах слаботочной угольной дуги атмосферного давления с помощью лазерного монитора / Э.И. Асиновский, В.М. Батенин, И.И. Климовский, В.В. Марковец // Высокотемпературные аппараты и конструкции – 2001. – Т. 39, №5. – С. 794-809.
- [3] Trigub, M.V. The Use of a Bistatic Laser Monitor for High-Speed Imaging of Combustion Processes / M.V. Trigub, N.A. Vasnev, V.D. Kitler, G.S. Evtushenko // Atmos. Ocean. Opt. – 2021. – Vol. 34(2). – P. 154-159.
- [4] Gubarev, F.A. Laser monitor application for study of aluminum nanopowder ignition and combustion / F. A. Gubarev, I. Liushnevskaya, L. Li, A. V. Mostovshchikov, A. P. Ilyin // Saratov Fall Meet. 2020 Laser Physics, Photonic Technol. Mol. Model., V. L. Derbov, Ed. – 2021. – Vol. 11. – 9855140.
- [5] Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов – 2. В 2 т. Т. 1 / под ред. В.М. Батенина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 544 с. ISBN 978-5-9221-1085-3.
- [6] Kostadinov, I. K. High-power Single-Tube Sr Vapor Laser Oscillating in the Mid-IR Spectral Range / I. K. Kostadinov, K. A. Temelkov, S. I. Slaveeva, B. Ivanov, N. Sabotinov // IEEE Journal of Quantum Electronics. – 2021. – Vol. 57(5). – P. 6. DOI: 10.1109/JQE.2021.3102819.
- [7] Shiyarov, D. MnCl2 laser with pulse repetition frequency up to 125 kHz / D. Shiyarov, M. Trigub, V. Sokovikov, G. Evtushenko // Opt. Laser Technol. – 2020. – Vol. 129. – P. 106302.
- [8] Trigub, M.V. Operating features of a copper bromide brightness amplifier in the monostatic laser monitor / M.V. Trigub, N.A. Vasnev, G S. Evtushenko // Opt. Commun. – 2021. – Vol. 480. – P. 126486.