

О конденсации спектра генерации широкополосного лазера при внутрирезонаторном рассеянии излучения на аэрозоле

А.И.Ванин

Предложен механизм конденсации спектра генерации широкополосного лазера при внутрирезонаторном рассеянии излучения на аэрозоле.

Ключевые слова: внутрирезонаторная лазерная спектроскопия, конденсация спектра.

Явление конденсации спектра в широкополосных лазерах при внутрирезонаторной лазерной спектроскопии достаточно давно известно (см., напр., [1]) и наблюдается вблизи сильных и узких линий поглощения. В работе [2] обнаружена конденсация спектра широкополосного лазера вследствие рассеяния на аэрозоле глицерина или стеариновой кислоты со средним размером частиц порядка 1 мкм. Такая конденсация отсутствовала в воде с размером частиц порядка 10 мкм. Положение области конденсации спектра генерации менялось от импульса к импульсу. В случае, когда в полосе генерации лазера не наблюдалось сильной линии поглощения, регистрируемое сужение спектра генерации могло быть связано с тем, что в спектре экстинкции света на аэрозоле имелись просветления в узких областях спектра, сильно зависящих от среднего размера частиц аэрозоля и их материала, что приводило к модуляции добротности резонатора лазера при рассеянии излучения на аэрозоле.

Сечение экстинкции света на сферической частице можно представить в виде [3]

$$C_{\text{ext}}(\omega) = \frac{2\pi}{k^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}[a_n(\omega) + b_n(\omega)], \quad (1)$$

где

$$a_n(\omega) = \frac{m\psi_n(mx)\psi_n'(x) - \psi_n(x)\psi_n'(mx)}{m\psi_n(mx)\varphi_n'(x) - \varphi_n(x)\psi_n'(mx)},$$

$$b_n(\omega) = \frac{\psi_n(mx)\psi_n'(x) - \psi_n(x)\psi_n'(mx)}{\psi_n(mx)\varphi_n'(x) - \varphi_n(x)\psi_n'(mx)},$$

$x = kR$; $k = \omega/c$ – волновое число; R – радиус частиц; $m = \varepsilon^{1/2}(\omega)$; $\varepsilon(\omega)$ – диэлектрическая проницаемость материала аэрозольных частиц; $\varphi_n(x) = xj_n(x)$; $\psi_n(x) = x \times h_n^{(1)}(x)$; $j_n(x)$ и $h_n^{(1)}(x)$ – сферические функции Бесселя и Ханкеля первого рода соответственно.

А.И.Ванин. Сыктывкарский государственный университет, физический факультет, Россия, 167001 Сыктывкар, Октябрьский просп., 55; e-mail: vanin@ssu.komi.com

Поступила в редакцию 25 октября 2002 г., после доработки – 12 февраля 2003 г.

На рис.1 приведен спектр эффективности экстинкции аэрозоля ($Q_{\text{ext}} = C_{\text{ext}}/\pi R^2$), характерный размер частиц которого был порядка $\lambda_0/2$ ($\lambda_0 = 2.25$ мкм). Предполагалось, что частицы имеют гауссово распределение по размерам с полушириной $10^{-1}R$. При расчетах произведено усреднение по размеру частиц. Была использована модель диэлектрической проницаемости вещества, в которой ближайшая к полосе генерации частота линии поглощения аэрозоля бралась равной $1.02\omega_0$, а ее ширина – $10^{-3}\omega_0$. Эта частота соответствует частоте поглощения в жидкой фазе аэрозоля. В газообразной фазе глицерин и стеариновая кислота имеют близкий спектр поглощения.

Интенсивные линии поглощения лежат в окрестности 1.5 мкм. В жидкой фазе эти линии сдвигаются в длинноволновую область. Оценки, например по известной формуле Максвелла–Гарнета, дают для спектра поглощения жидкой фазы область поглощения вблизи 2 мкм. Мы предположили, что линия поглощения в жидкой объемной фазе вещества аэрозоля близка к области генерации широкополосного лазера.

На рис.1 хорошо видны области просветления 2.248 мкм при среднем размере частиц $0.5\lambda_0$, 2.252 мкм при среднем размере частиц $0.52\lambda_0$ и 2.252 при среднем размере $0.54\lambda_0$. При большей удаленности частоты поглощения от частоты генерации наблюдается более широкая полоса просветления и ее смещение в область больших размеров частиц аэрозоля. Для больших размеров частиц

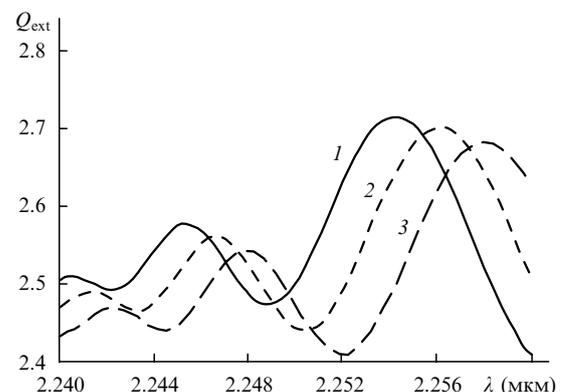


Рис.1. Спектр эффективности экстинкции аэрозолей при $R/\lambda_0 = 0.5$ (1), 0.52 (2) и 0.54 (3); $\lambda_0 = 2.25$ мкм.

тоже наблюдается просветление в спектре экстинкции, но после усреднения по спектру размеров частиц аэрозоля оно практически исчезает.

Из приведенных данных видно, что наличие аэрозоля внутри резонатора может приводить к сильной селективности. На начальном этапе генерации, когда усиление превышает потери, наблюдается излучение с широким спектром. В процессе развития генерации (вследствие сильной селективности) интенсивность излучения изменяется по закону

$$I(\omega, t) = I_0 \exp[-C_{\text{ext}}(\omega)Nct] \quad (2)$$

и спектр может сузиться до стационарного значения (в пределе до одной моды лазерного резонатора) и на ранних этапах генерации (здесь N – среднее число частиц аэрозоля в единице объема). Формула (2) описывает потери при многократном прохождении тонкого слоя частиц, что и имеет место при внутрирезонаторной лазерной спектроскопии. В случае тонкого слоя аналогичная формула может быть получена из формулы (3.47) работы [3] в пренебрежении многократным рассеянием.

Таким образом, при наличии линии поглощения в жидкой фазе вещества аэрозоля вблизи полосы генерации, при определенных средних размерах частиц аэрозоля и концентрациях аэрозоля может наблюдаться конденсация спектра генерации широкополосного лазера.

Более сильная зависимость эффекта конденсации спектра от размеров частиц и более значительное просветление в спектре экстинкции наблюдается в более точной модели, в которой учитывается наличие на частицах поверхностного слоя [4], поскольку спектр экстинкции на частицах в рамках этой модели становится более богатым.

Автор выражает благодарность за полезные обсуждения и внимание к работе сотрудников ФИАНа М.П. Фролова, Ю.П.Подмарькова и А.А.Юркина.

1. Захарьин В.И., Надточенко В.А., Саркисов О.М. *Квантовая электроника*, **8** (9), 2036 (1981).
2. Подмарьков Ю.П., Фролов М.П. *Квантовая электроника*, **30** (8), 669 (2000).
3. Борен К., Хафмен Д. *Поглощение и рассеяние света малыми частицами* (М.: Мир, 1986).
4. Ванин А.И. *ЖТФ*, **64**, 115 (1994).