

СИНХРОНИЗАЦИЯ МОД ПРИ МАГНИТНОЙ МОДУЛЯЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ЛАЗЕРА

С.К.Исаев, Л.С.Корниенко, Е.Г.Ларионцев

Экспериментально показана возможность получения режима синхронизации мод диспрозиевого лазера при модуляции коэффициента усиления активной среды за счет зеемановского расщепления линии люминесценции в переменном магнитном поле.

Одним из методов получения ультракоротких лазерных импульсов является синхронизация мод излучения при вынужденной модуляции параметров лазера с частотой межмодовых биений. Обычно для этой цели в резонатор вводится устройство, модулирующее потери или фазу проходящей волны. В настоящей работе сообщается о наблюдении режима синхронизации мод лазера на $\text{CaF}_2 - \text{Dy}^{2+}$ при модуляции коэффициента усиления активной среды вследствие зеемановского расщепления линии люминесценции в переменном магнитном поле. Этот метод может оказаться особенно удобным для синхронизации мод в инфракрасном диапазоне, поскольку эффективность обычно используемых модуляторов падает с увеличением длины волны. В частности, известные высокочастотные модуляторы, работающие на длине волны 2,36 мкм, недостаточно эффективны, и, в связи с этим, режим синхронизации мод диспрозиевого лазера до настоящего времени не был получен.

При помещении усиливающей среды в магнитное поле H происходит расщепление линии люминесценции, приводящее к уменьшению коэффициента усиления в центре линии. В случае, когда расстояние между крайними зеемановскими компонентами Δ мало по сравнению с шириной лоренцевской линии люминесценции γ , коэффициент усиления k можно представить в виде: $k = k_0 [1 - a (\Delta/\gamma)^2]$. Здесь k_0 — коэффициент усиления в отсутствие магнитного поля, a — численный множитель, зависящий от схемы энергетических уровней и соотношения интенсивностей зеемановских компонент. Для $\text{CaF}_2 - \text{Dy}^{2+}$ множитель a в зависимости от ориентации кристалла в магнитном поле лежит в пределах: $0,33 \leq a \leq 1$; $\Delta = g \beta H$; $g \beta = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}/\text{э}$ [1, 2]; $\gamma = 0,25 \text{ см}^{-1}$ при температуре жидкого азота.

В работах [3 – 5] изучалась магнитная модуляция интенсивности излучения лазера на частотах, много меньших частоты межмодовых биений. В данной работе исследуется резонансная модуляция коэффициента усиления k с частотой межмодовых биений Ω .

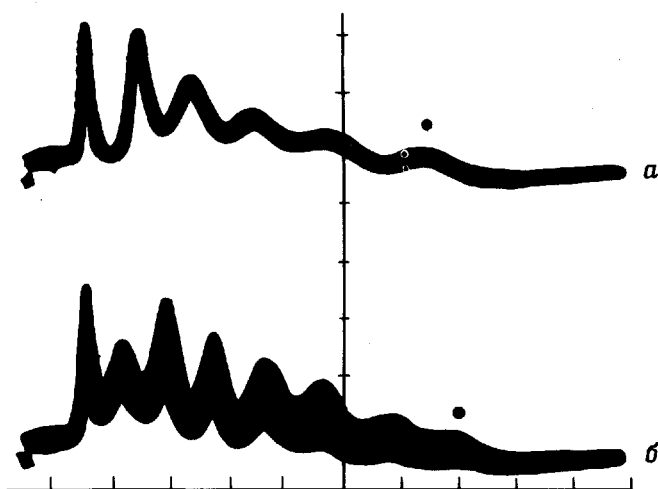


Рис. 1. Скорость развертки 20 мксек/деление. Модуляция излучения проявляется как "размазывание" луча. Отмеченные точки — участки представлены на рис. 2

Если магнитное поле изменяется по закону $H = H_0 + H_1 \sin \omega t$, то резонансная модуляция возможна при $\omega = \Omega/2$ и $\omega = \Omega$. В первом случае глубина модуляции коэффициента усиления с частотой Ω равна $m_1 = ag^2 \beta^2 H_1^2 / 2\gamma^2$, а во втором — $m_2 = 2ag^2 \beta^2 H_0 H_1 / \gamma^2$.

Эксперименты проводились с кристаллом $\text{CaF}_2 - \text{Dy}^{2+}$ длиной 50 мм, имевшим скошенные торцы для устранения селекции мод. На кристалл была намотана катушка, создающая синусоидальное магнитное поле ($H_1 = 80 \text{ э}$, $H_0 = 0$). Глубина модуляции при этих параметрах лежит в пределах $0,0035 \leq m_1 \leq 0,01$. Кристалл, помещенный в эллиптический осветитель, охлаждался жидким азотом и накачивался импульсной лампой. Длительность импульса накачки составляла $\sim 200 \text{ мксек}$. Резонатор лазера образован зеркалом, напыленным на торец кристалла, и выносным плоским зеркалом. С целью уменьшения частоты межмодовых биений внутрь резонатора вводилась оптическая линия задержки [6], так что эффективная длина резонатора составила 26,6 м и $\Omega = 3,54 \cdot 10^7 \text{ сек}^{-1}$.

В отсутствие магнитной модуляции, а также в случае нерезонансной модуляции генерация лазера при трехкратном превышении пороговой энергии накачки имеет вид, показанный на рис. 1, а. Наблюдения на быстрых развертках осциллографа показывают, что излучение имеет сложную шумовую структуру, обусловленную биениями несинхронизованных мод. При регистрации излучения приемной системой с полосой пропускания 30 МГц наблюдаемая глубина шумовой модуляции составляет 10 – 20% (рис. 2, а).

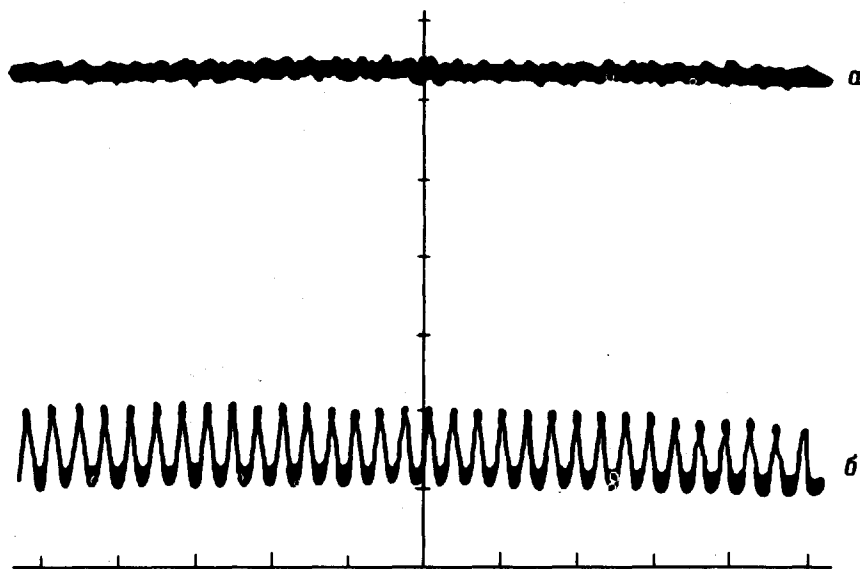


Рис. 2. Скорость развертки 0,5 мксек/деление

При резонансной магнитной модуляции происходит постепенное преобразование шумовой структуры, и к концу импульса генерации излучение оказывается промодулированным квазипериодической последовательностью импульсов, повторяющихся с частотой межмодовых биений (рис. 2, б). Из рис. 1, б видно, что модуляция излучения увеличивается со временем и к концу импульса генерации достигает 70 – 80%. Картины с такой модуляцией излучения имеют место, если частота ω лежит в пределах $\Omega/2 \pm 3 \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}$.

Полученные результаты можно интерпретировать, как возникновение режима синхронизации мод при резонансной магнитной модуляции коэффициента усиления. Отсутствие 100-процентной модуляции излучения свидетельствует о том, что в данных условиях режим полной синхронизации мод не успевает установиться. Это, очевидно, связано со слишком малой глубиной модуляции коэффициента усиления. Отметим, что наложением достаточно сильного постоянного магнитного поля H_0 можно существенно увеличить глубину модуляции коэффициента усиления. Так, при $H_0 = 200 \text{ э}$, $H_1 = 100 \text{ э}$ и оптимальной ориентации кристалла глубина модуляции достигнет величины $m_2 = 0,12$. Значительной

глубины модуляции коэффициента усиления можно достичь также, помещая лазерный кристалл в высокочастотное магнитное поле сверхпроводящего резонатора.

Проведенные исследования свидетельствуют о практической возможности получения режима синхронизации мод на основе магнитной модуляции коэффициента усиления. Авторы благодарят Н.В.Кравцова за стимулирующие обсуждения.

Институт ядерной физики
Московского
государственного университета

Поступила в редакцию
19 сентября 1974 г.

Литература

- [1] Z.J.Kiss, C.H.Anderson, R.Orbach. Phys. Rev., 137, A1761, 1965.
 - [2] Б.П.Захарченя, А.В.Варфоломеев, И.Б.Русанов. Физика твердого тела, 7, 1428, 1965.
 - [3] Z.J.Kiss. Appl. Phys. Lett., 3, 145, 1963.
 - [4] R.J.Pressley, J.P.Wittke. IEEE Journal of Quantum Electr., QE-3, 116, 1967.
 - [5] В.Н.Цикунов. ДАН СССР, 199, 306, 1971.
 - [6] Л.С.Корниенко, Н.В.Кравцов, Е.Г.Ларионцев, А.М.Прохоров. ДАН СССР, 193, 1280, 1970.
-