

УДВОЕНИЕ ЧАСТОТЫ СВЕТА В РУБИНЕ

Т.П.Беликова, Э.А.Свириденков

В кристаллах, помещенных в фокус пучка генерации мощного рубинового ОКГ с модулированной добротностью (плотность потока $W \sim 10^{10} \text{ вт/см}^2$), возникают нелинейные эффекты. Одним из таких эффектов является излучение света удвоенной частоты, наблюдавшееся в кристаллах, не имеющих центра симметрии [1], а также в плавленном кварце [2], который, с точки зрения симметрии, является жидкостью, но молекулы которого не обладают центром инверсии.

Нами наблюдалось излучение с длиной волны $\lambda = 347 \text{ нм}$ из области фокуса пучка рубинового ОКГ в образце рубина (рубин обладает центром инверсии). На рисунке приведена спектрограмма излучения рубина при облучении светом рубинового ОКГ. Спектр состоит из двух широких полос (3) и узкой линии удвоенной частоты рубинового ОКГ (на рисунке отмечена стрелкой). Внизу для сравнения приведен спектр ртутной лампы. Излучение наблюдалось как без разрушения рубина (а), так и при разрушении (б).

Интенсивность этого излучения по порядку величины была оценена по почернению пленки. Чтобы вызвать такое почернение пятна, размером 10^{-1} мм², необходимо 10^{-11} дж световой энергии. Было произведено 10 экспозиций, т.е. за каждую вспышку на пленку попадало 10^{-12} дж. Если считать, что излучение на частоте 2ω шло во все стороны равномерно, то в спектрограф попадало 10^{-3} всей энергии. Таким образом в излучение с $\lambda = 347$ нм переходит $\sim 10^{-9}$ дж энергии при падающей энергии ~ 1 дж.



Рис.1. Спектр свечения рубина при облучении светом рубинового ОКГ (стрелкой отмечено излучение с длиной волны 347 нм)

Как известно, [1] наиболее эффективным механизмом удвоения частоты света является электродипольное взаимодействие света с кристаллом, не обладающим центром симметрии. Поляризация на удвоенной частоте записывается следующим образом:

$$P_i(2\omega) = \chi_{ikl}^{\text{Э-дип}} E_k(\omega) E_l(\omega). \quad (1)$$

E_k и E_l – напряженности поля в луче света ОКГ, $\chi_{ikl}^{\text{Э-дип}}$ – тензор нелинейной поляризуемости при электродипольном механизме взаимодействия. Интенсивность излучения света удвоенной частоты пропорциональна квадрату поляризации и составляет обычно

$$I^{\text{Э-дип}}(2\omega) \sim 10^{-4} \div 10^{-5} I(\omega),$$

где $I(\omega)$ интенсивность падающей радиации при плотности потока $W \sim 10^{10}$ Вт/см², если нет эффектов накопления и усиления. Соотношение (1) должно быть инвариантно относительно всех преобразований симметрии данного кристалла. Отсюда, в частности, следует, что для всех кристаллов, обладающих центром инверсии, $\chi_{ikl}^{\text{Э-дип}} \equiv 0$. Это означает,

что в кристаллах с центром инверсии излучение удвоенной частоты, при учете только электродипольного взаимодействия, должно отсутствовать. Рубин является кристаллом, обладающим центром инверсии, поэтому наблюдаемое нами излучение на удвоенной частоте представляет интерес. Укажем несколько причин, могущих привести к его возникновению. Пер-

вой причиной может служить магнитнодипольное и электроквадрупольное взаимодействие света ОКГ с решеткой корунда, аналогично механизму, рассмотренному Аскарьяном [4] и Першаном [5]. В этих случаях поляризация имеет следующий вид:

$$P_i(2\omega) = \chi_{ikl}^{M\text{-дип}} E_k(\omega) H_e(\omega)$$

для магнитнодипольного взаимодействия и

$$P_i(2\omega) = \chi_{ike_m}^{Э\text{-КВ}} E_e(\omega) \frac{dE_m(\omega)}{dr_k}$$

для электроквадрупольного взаимодействия. Компоненты тензоров $\chi_{ikl}^{M\text{-дип}}$ и $\chi_{iklm}^{Э\text{-КВ}}$ не изменяются при преобразовании инверсии в кристаллах с центром симметрии.

Как известно, [5] нелинейная поляризация, обусловленная этими взаимодействиями, на три порядка меньше поляризации, возникающей в случае электродипольного взаимодействия. Поэтому интенсивность рассеянного света, вызванного этой поляризацией, должна быть на шесть порядков меньше той, которую дало бы электродипольное взаимодействие для аналогичных кристаллов, только без центра инверсии. Таким образом в этом случае

$$I(2\omega) \sim 10^{-6} I_{Э\text{-дип}}(2\omega) \sim 10^{-10} I(\omega).$$

Второй причиной может быть искажение решетки корунда ионами хрома, которое приводит к нелинейной поляризации, пропорциональной степени искажения решетки и концентрации хрома (в данном случае $c = 0,03\%$). Интенсивность рассеянного света удвоенной частоты в рубине, обусловленная этой поляризацией

$$I(2\omega) = (3 \cdot 10^{-4})^2 I_{Э\text{-дип}}(2\omega) = 10^{-7} \cdot 10^{-4} I(\omega) = 10^{-11} I(\omega).$$

Рассматривая перечисленные выше эффекты, следует помнить, что поле частоты 2ω коррелировано по фазе с полем основного излучения. Влияние интерференции может привести к тому, что эффективно излучать свет на частоте 2ω будет только слой толщины $\sim \lambda$ в области акустики луча ОКГ или в местах неоднородностей кристалла [4, 6].

Еще одной возможной причиной возникновения излучения на частоте 2ω в рубине может быть антистоксово комбинационное рассеяние света ОКГ на ионах хрома, находящихся в возбужденном состоянии на уровне 2E . В этом случае также необходимо учитывать магнитнодипольное и электроквадрупольное взаимодействия. Отсутствие данных о величинах матричных элементов не позволяет пока оценить вклад каждого из этих механизмов в возникновение излучения на частоте 2ω в рубине с наблю-

денной нами интенсивностью $I(2\omega) \sim 10^{-9} I(\omega)$. Расхождение наблюдаемой интенсивности с оценками возможной интенсивности может объясняться неизотропностью излучения на частоте 2ω , вследствие интерференционных эффектов.

Авторы выражают благодарность М.Д.Галанину за интерес к работе.

Физический институт
им.П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
30 октября 1966 г.

Литература

- [1] С.А.Ахманов, Р.Б.Хохлов. Проблемы нелинейной оптики, ВИНТИ, М., 1962.
- [2] R.W.Terhune, P.D.Maker, C.M.Savage. Phys. Rev. Lett., 14, 681, 1965.
- [3] Т.П.Беликова, Э.А.Свириденков. Письма ЖЭТФ, 1, вып. 6, 37, 1965.
- [4] Г.А.Аскарьян. ЖЭТФ, 47, 782, 1964.
- [5] P. S. Pershan. Phys. Rev., 130, 919, 1963.
- [6] P. D. Maker, R. W. Terhune, M. Nisenoff, C. M. Savage. Phys. Rev. Lett., 8, 21, 1962.