

ДВУХКВАНТОВОЕ КООПЕРАТИВНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ СЛАБЫХ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ

В. В. Овсянкин, П. П. Теофилов

Эффективность (η) двухквантовых конверторов длинноволнового излучения в коротковолновое, основанных на кооперативных процессах (рис. 1), является в общем случае функцией интенсивности преобразуемого излучения. Это связано со сверхлинейной зависимостью интенсивности антистоксовой люминесценции ($I_{\text{кооп}}$) от интенсивности преобразуемого излучения (E). Ранее [1] нами было показано, что в некоторых случаях сверхлинейная зависимость $I_{\text{кооп}}(E)$ вырождается в линейную. Условия линейаризации ($I_{\text{кооп}} = \alpha E - B$) для всех изображенных на рис. 1 процессов имеют вид:

$$\omega_2^+ \gg \tau_2^{-1} \text{ и } \gamma \gg \omega_2^-, \quad (1)$$

где γ – скорость релаксации, выводящей систему из резонанса; физический смысл скоростей ω_2^+ , ω_2^- и τ_2^{-1} несколько отличается для каждого из процессов и ясен из рис. 1.

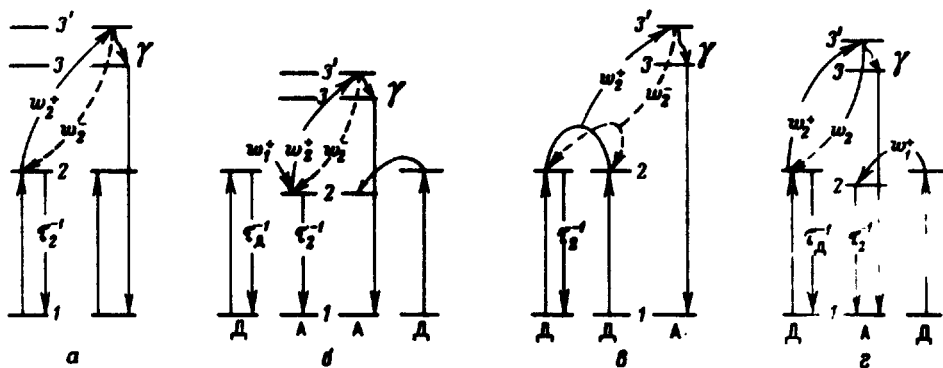


Рис. 1. Механизмы кооперативного двухквантового преобразования частоты "вверх": а – суммирование энергии, б – сенсibilизированное суммирование энергии, в – кооперативная сенсibilизация, г – последовательная сенсibilизация

При выполнении условий (1) для систем, работающих по механизмам 1, а и 1, в: квантовая эффективность ($\eta_{\text{КВ}}$) заселения высокоэнергетических состояний 3' может быть близка к 0,5, а энергетическая эффективность конвертора ($\eta_{\text{ЭН}}$) без учета потерь на релаксацию 3' – 3 близка к единице. Аналогичное следствие для систем, работающих по схемам 1, б и 1, г получается при выполнении совокупности условий (1) и условия

$$\omega_1^+ \gg \tau_D^{-1}. \quad (2)$$

Физический смысл этих условий весьма прост: для эффективной работы конвертора необходимо, чтобы релаксация всех промежуточных состояний, участвующих в процессе, происходила через излучательное состояние 3. Наиболее известными из кооперативных конвертирующих систем являются кристаллы, активированные одним или двумя сортами трехзарядных редкоземельных ионов [2, 3].

В кристаллах с одним активатором, работающих по схеме 1, а при малых плотностях потоков преобразуемого излучения $I_{\text{кооп}} \sim E^2$, что свидетельствует о весьма низкой эффективности преобразования в этих условиях. Только повышение интенсивности преобразуемого излучения до значений, превышающих 2 ст/см^2 , приводит, как было продемонстрировано одним из нас [4], в кристаллах $\text{BaF}_2 - \text{Er}^{3+}$ к созданию практически идеального конвертора инфракрасного излучения ($\lambda \approx 0,98 \text{ мкм}$) в видимое ($0,55 \text{ мкм}$). Теоретические оценки [5] показали, что экспериментальное значение w_2^* , полученное в этих опытах, близко к оптимальному для подобных систем.

Создание эффективных конверторов на основе кристаллов с двумя сортами редкоземельных ионов, работающих по схемам 1, б и 1, в, требует выполнения совокупности условий (1) и (2). В то время как (1) по-прежнему может быть удовлетворено путем повышения интенсивности преобразуемого излучения, для выполнения (2) необходимо создание специфической гетерогенности, приводящей к эффективному стоку энергии возбуждения по системе ионов-доноров (D) к ионам-акцепторам (A). Имеющиеся к настоящему времени данные о скоростях элементарных процессов, ответственных за эффективность преобразования в этих системах [3], не дают никаких оснований для надежд на создание на их основе эффективных преобразователей частоты излучения, плотность которого значительно ниже 1 ст/см^2 .

Менее известными, но значительно более перспективными для преобразования потоков малой мощности являются существенно гетерогенные системы — кристаллофосфор + краситель [1]. Донорами энергии в этих системах служат сильнопоглощающие молекулы красителя, адсорбированного на поверхности кристалла, а акцепторами энергии — электронные состояния кристалла.

В работах [1] на основании близости показателей степенных зависимостей интенсивности краевой люминесценции систем $\text{AgNaI} + \text{краситель}$ от интенсивности стоксова и антистоксова возбуждения был сделан вывод, что при плотностях возбуждения, при которых проводились опыты ($\approx 10^{-5} \text{ ст/см}^2$) указанные системы оказываются эффективными конверторами излучения. Существенная нелинейность краевой люминесценции при 77°K , вызванная рекомбинационным характером свечения и высвечивающим действием возбуждающего света, особенно сильным при антистоксовом возбуждении, не позволили, однако, судить об эффективности процесса кооперативного суммирования энергии при малых интенсивностях. Естественным путем подавления подобных нелинейностей, вызванных полупроводниковыми процессами в кристаллофосфорах в области их температурного тушения, может служить понижение температуры образца. Проведенные нами исследования эффек-

тивности преобразования длинноволнового излучения в коротковолновое промышленными фотографическими материалами при 4,2°К показали, что последние оказываются эффективными конверторами, начиная с интенсивности по крайней мере $2 \cdot 10^{-11}$ вт/см^2 .

Образцами служили фотопленки КН-3, КН-4С, Фото-250 и ВЧ не подвергавшиеся предварительной засветке. Модулированное (25 $\mu\text{с}$) излучение лампы накаливания пропусклось через монохроматор ДФС-12 и дополнительные светофильтры и падало на образец, помещенный в гелиевый криостат. Люминесценция образца выделялась при помощи светофильтров СЗС-22 и ЗС-9 и регистрировалась ФЭУ-79.

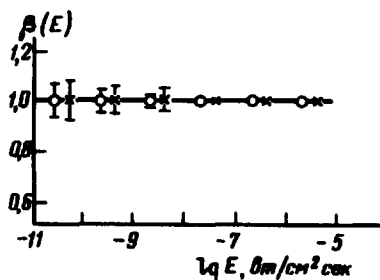


Рис. 2. Зависимость $\beta(E)$ (светлые кружки) при стоксовом и (крестики) при антистоксовом возбуждении: $T = 4,2^\circ\text{К}$. Пленка КН-4С

На рис. 2 в качестве примера приведены зависимости интенсивности люминесценции пленки КН-4С ($\lambda_{\text{стокс}} = 540 \text{ нм}$) от интенсивности стоксова (365 нм) и антистоксова (680 нм) возбуждения в диапазоне от 10^{-11} до 10^{-5} вт/см^2 в координатах $\beta(E) - \lg E$, где $\beta(E)$ — показатель степенной зависимости $I = E^{\beta(E)}$.

Как видно из рис. 2, обе зависимости описываются линейным законом во всем исследованном интервале интенсивностей возбуждения, что свидетельствует о реализации конвертора с $\eta_{\text{КВ}} \approx 0,5$ при субнановаттных интенсивностях преобразуемого излучения. Интересно отметить, что для получения почернения с плотностью I в исследованных фотоматериалах при этих интенсивностях необходимы времена экспонирования более 10^4 сек^1 .

Государственный
оптический институт
им. С.И.Вавилова

Поступила в редакцию
1 октября 1971 г.

Литература

- [1] В.В. Овсянкин, П.П. Феофилов. ДАН СССР, 174, 787, 1967; Сб. "Молекулярная фотоника", Л., Изд. Наука, 1970, стр. 86.
[2] В.В. Овсянкин, П.П. Феофилов. Письма в ЖЭТФ, 3, 494, 1966; 4, 471, 1966; F. Auzel. C.R. Acad. Sci., 262B, 1016; 263B, 819, 1966.

¹⁾ Значение полученных результатов для теории сенсibilизации фотографического процесса и физического моделирования основной реакции фотосинтеза — фотолиза воды — мы обсудим в другом месте.

- [3] S.V.Galginaitis, G.E.Fenner. Proc. Intern. Conf. on GaAs. Dallas, USA, Oct. 1968, p. 131; J.D.Kingsley, G.E.Fenner, S.V.Galginaitis. Appl. Phys. Lett., 15, 115, 1969; L.F.Johnson, J.E.Geusic, H.J.Guggenheim, T.Kushida, S.Singh, L.G.Van Uitert. Appl. Phys. Lett., 15, 48, 1969; F.W.Ostermayer, Jr., J.P. van der Ziel, H.M.Marcos, L.G.Van Uitert, J.E.Geusic. Phys. Rev., B3, 2698, 1971; В.В.Овсянкин, П.П.Феофилов. Оптика и спектроскопия, 31, вып. 6, 1971.
- [4] В.В.Овсянкин. Оптика и спектроскопия, 28, 206, 1970.
- [5] V.L.Shekhtman, E.D.Trifonov. Phys. Stat. Sol., 41, 855, 1970.
-