

БОЗОННЫЕ ЛАВИНЫ В RbCl:Ag<sup>+</sup>

Р.В. Сабурова, Г.П. Чугунова

Системы параэлектрических центров представляют большой интерес с точки зрения их использования для наблюдения фотонных и фононных лавин. В области частот от 0 до 100 ТГц параэлектрические центры являются единственными резонансными примесями, которые имеют электрические дипольные моменты порядка 1–6 Д и константы ион-фононного взаимодействия порядка  $10^{-18}$ – $10^{-19}$  Дж/единица деформации. Параэлектрические центры (ПЭЦ) — это молекулярные (типа  $\text{OH}^-$ ) или нецентральные (типа  $\text{Li}^+$ ) примесные ионы замещения в кристаллах, обладающие вследствие туннелирования дискретным энергетическим спектром [1].

В данной работе рассмотрено влияние релаксационных процессов на формирование бозонной лавины в  $\text{RbCl:Ag}^+$  при различных соотношениях между временем продольной релаксации и временем радиационного затухания. Бозонные лавины, представляющие собой спонтанное когерентное излучение инвертированной квантовой системы при ее нестационарном резонансном возбуждении короткими (длительностью  $10^{-8}$ – $10^{-10}$  с) импульсами переменного электромагнитного поля в микроволновой области, описаны, например, в [1]. Динамическим поведением системы управляет процесс излучения и релаксационные процессы.

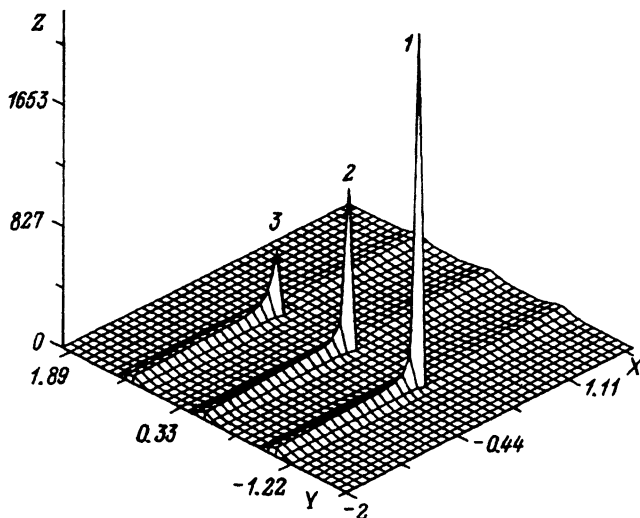
Вычислим интенсивность лавины по формуле [1]

$$I(t) = \hbar\omega_0\tau[(1/T_2 + 1/2T_1) - 1/\tau_r]^2 \text{sech}^2 \{[(1/T_2 + 1/2T_1) - 1/\tau_r](t - t_\alpha)\}, \quad (1)$$

где  $\omega_0$  — частота резонансного перехода  $1A_1 - 2A_1$  иона  $\text{Ag}^+$  в  $\text{RbCl}$  при  $E_0 \parallel [100]$  ( $E_0$  — постоянное электрическое поле);  $T_1$  и  $T_2$  — времена фазовой (поперечной) и энергетической (продольной) релаксации соответственно для продольной и поперечной компонент макроскопической электрической поляризации системы ПЭЦ;  $\tau_r$  — время радиационного затухания,  $\tau_r = T_2(1 - e/\sqrt{N})$  [1];  $N$  — число излучающих примесных ионов в единице объема;  $t_\alpha$  — время задержки лавины, т.е. время, в течение которого интенсивность когерентного излучения достигает максимума;  $\tau$  — время жизни одного изолированного излучающего иона  $\text{Ag}^+$ .

Используем следующие параметры параэлектрического кристалла  $\text{RbCl:Ag}^+$ :  $N = 10^{18}$  см<sup>-3</sup>,  $\omega_0 = 9.6$  ГГц, матричный элемент дипольного перехода  $\langle p | \rangle E_1 = 1.6 \cdot 10^{-23}$  Дж ( $E_1 = 10^5$  В/см, электрический дипольный момент  $p = 4$  Д),  $T_1 \simeq T_2 = 8$  мкс при данной концентрации и при  $T = 1.4$  К,  $\tau_r = 4$  нс.

На рисунке представлено графическое изображение интенсивности лавины, описываемой выражением (1), в зависимости от времени поперечной релаксации при различных временах задержки и соотношениях между  $T_1$  и  $\tau_r$ . Нами показано, что учет  $T_2$  приводит к уменьшению интенсивности лавины и даже к ее исчезновению при уменьшении концентрации ПЭЦ. Но изменение концентрации ПЭЦ не влияет на время ион-дырочной релаксации  $T_1$ . Поэтому для наблюдения лавины необходимо удлинить время  $T_1$ . Сильная диполь-решеточная связь ионов  $\text{Ag}^+$



Интенсивность лавины в относительных единицах (ось  $Z$ ) в зависимости от времени  $t$  (ось  $Y$ ) и времени релаксации  $T_2$  (ось  $X$ ) при  $1/2T_1 - 1/\tau_r = -7$  и трех значениях времени задержки.

$t_\alpha = -1$  (1), 0 (2), 1 (3).

в  $\text{RbCl:Ag}^+$  перенормирует туннельные параметры (в сторону их уменьшения) и, таким образом, удлинит время релаксации  $T_1$ . Кроме того, выращивание качественных порошковых образцов из раствора и создание дислокаций с требуемыми параметрами также приводят к удлинению  $T_1$ .

Применение больших (по сравнению с длиной волны бозонного поля) образцов с соответствующей геометрией приводит к определенной направленности лавины в пространстве [2]. В поперечной релаксации появляются эффекты направленности, которые уменьшают влияние поперечной релаксации на формирование лавины. При этом можно так подобрать действие направленности процессов релаксации и когерентности, что их взаимное влияние приведет к оптимальному результату.

Итак, наличие поперечной релаксации может препятствовать развитию лавины и даже «тушить» ее. Время задержки  $t_\alpha$  изменяется по мере приближения времени радиационного затухания  $\tau_r$  к времени поперечной релаксации  $T_2$ . Учет продольной релаксации  $T_1$  приводит к дальнейшему «тушению» лавины.

Выполненные расчеты показывают, что параэлектрическая система  $\text{RbCl:Ag}^+$  является подходящим объектом для генерации бозонных лавин.

### Список литературы

- [1] Копвиллем У.Х., Сабурова Р.В. Параэлектрический резонанс. М.: Наука, 1982. 234 с.
- [2] Копвиллем У.Х., Бордаков М.В., Чудновский В.М. // Изв. вузов. Физика. 1986. Т. 9. N 1. С. 81-86.

Химико-технологический институт  
Казань

Поступило в Редакцию  
14 мая 1993 г.