

нормировке частоты соответствующих колебаний, дающих вклад в мягкую моду, и к сдвигу сегнетоэлектрического ФП.

Слабое влияние замещения ионов Li^{1+} на Na^{1+} (в соединении $(\text{Li}_{0.75}\text{Na}_{0.25})_2\text{Ge}_7\text{O}_{15}$, T_c смещается только на 6 К) указывает, что колебания решетки, в которых принимают участие ионы Li^{1+} , лишь косвенно связаны с мягкой модой, ответственной за сегнетоэлектрический ФП.

Л и т е р а т у р а

- [1] Murthy M. K. J. J. Am. Ceram. Soc., 1964, vol. 47, N 2, p. 328—331.
- [2] Scott B. A., Ingebrigtsen K. A., Tseng C. C. Mat. Res. Bull., 1970, vol. 5, N 12, p. 1045—1050.
- [3] Haussuhl S., Wallrafen F., Recker K. Z. Kristallographic, 1980, vol. 153, p. 329—337.
- [4] Vollenkle H., Wittman A., Nowolny H. Monatsh. Chem., 1969, vol. 100, N 1, p. 79—90.
- [5] Волнянский М. Д., Кудзин А. Ю. ФТТ, 1987, т. 29, № 1, с. 213—215.
- [6] Волнянский М. Д., Кудзин А. Ю. ФТТ, 1988, т. 30, № 5, с. 1520—1523.

Днепропетровский
государственный университет
Днепропетровск

Поступило в Редакцию
29 июня 1988 г.

УДК 537.635

Физика твердого тела, том 30, в. 12, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 12, 1988

СВЕРХТОНКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ^{155}Gd В $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ И ЭФФЕКТ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ДИСКРЕТНОГО НАСЫЩЕНИЯ

А. Д. Горлов, А. П. Помапов

В работе описываются результаты исследования сверхтонкого взаимодействия (СТВ) тригонального центра $^{155}\text{Gd}^{3+}$ в кристаллах германата свинца (ГС) методами дискретного (ДН) и радиочастотного дискретного насыщения (РЧДН) [1, 2], а также впервые экспериментально обнаруженный эффект усиления участков неоднородно-уширенных сигналов ЭПР после импульсного СВЧ насыщения.

Эксперименты проводились на супергетеродинном спектрометре 3-см диапазона при температурах $T=1.8\div 4.2$ К. Выраженные методом Чохральского кристаллы ГС содержали примесь $^{155}\text{Gd}_2\text{O}_3$ 0.001—0.01 мольных % по весу в шихте.

Гамильтониан, описывающий ЭПР этого примесного центра, приведен в [2]. Там же даны параметры тонкой структуры, описаны некоторые особенности сверхтонкой структуры (СТС) и импульсных эффектов, наблюдавшиеся и в данной работе. Исследования СТС методами ДН и РЧДН в различных ориентациях внешнего магнитного поля H позволили определить константы СТВ для ^{155}Gd в ГС: $g_n = -0.172 \pm 0.006$, $A = 11.416 \pm \pm 0.014$ МГц, $B = 11.099 \pm 0.014$ МГц, $Q = -(208 \pm 7)$ МГц.

При изучении угловой зависимости ДН было обнаружено, что при $\theta \neq 0, 90^\circ$ (θ — угол между H и осью C_3 кристалла), когда СТС формируется одновременно разрешенными (РП) и запрещенными ЭПР переходами (ЗП), кроме провалов ДН, на отдельных компонентах СТС возникают области с увеличенным поглощением (рис. 1). По аналогии с ДН мы назвали этот эффект «отрицательным» дискретным насыщением (ОДН). Положение сигнала ОДН определяется СТВ (рис. 1, 2). Зависимость от времени t эффекта ОДН отличается от временной зависимости спектра ДН и имеет максимум при $t \simeq T_1$ — времени электронной спин-решеточной релаксации (СРР).

Эффект ОДН можно объяснить, рассмотрев изменение населенностей после импульсного насыщения в модельной системе уровней энергии (рис. 2), которая оправдана в нашем случае из-за большой величины Q [2]. После окончания СВЧ импульса на частоте ω_0 , приводящего к образованию провалов ДН на частотах ω_1 и ω_2 , населенности уровней энергии возвращаются к равновесным значениям за счет процессов электронной СРР с временами T_1 и T_x , связанными с РП и ЗП. Разность населенностей $\Delta n(t)$ уровней энергии, связанных РП с частотой ω'_0 , не затронутой непосредственно импульсом насыщения, при $t \sim T_1$ зависит от скоростей трех релаксационных переходов (рис. 2). В ситуации, когда РП и ЗП равновероятны, $\Delta n(t)$ может стать больше равновесной $\Delta n(0)$, т. е. будет наблюдаться усиление поглощения. Естественно, что это рассмотрение относится лишь к выделенным спиновым пакетам.

Решение системы кинетических уравнений для населенностей, описывающее поведение $\Delta n(t)$ после импульса насыщения, полностью под-

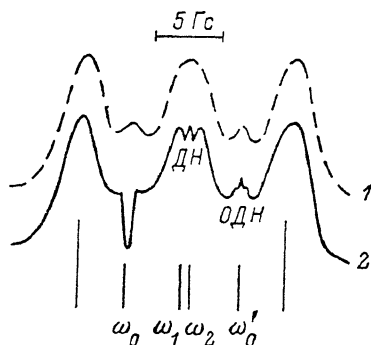


Рис. 1. Сверхтонкая структура на ЭПР переходе $1/2 \leftrightarrow -1/2$ при $\theta=5^\circ$ до (1) и после (2) насыщения импульсом СВЧ поля на частоте ω_0 .

На частотах ω_1, ω_2 — провалы ДН, на ω'_0 — сигнал ОДН. Вертикальные линии — расчетная СТС этого перехода.

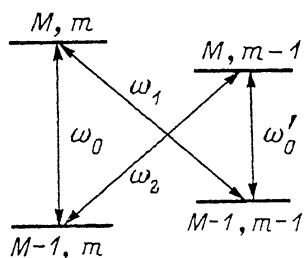


Рис. 2. Система электронно-ядерных уровней, поясняющая образование сигнала ОДН.

M, m — проекции электронного и ядерного спинов; ω_0, ω'_0 — частоты РП; ω_1, ω_2 — частоты ЗП.

тверждает качественное рассмотрение. Для случая, когда насыщение выравнивает населенности уровней M, m и $M-1, m$ (рис. 2), а вероятности РП и ЗП равны, т. е. $T_1=T_x$, $\Delta n(t)$ для уровней $M, m-1$ и $M-1, m-1$ описывается выражением

$$\Delta n(t) = \Delta n(0) + 0.25\Delta n(0) \{ \exp[-2t/T_1(\exp(-\delta) + 1)] + \exp[-2t/T_1(\exp \delta + 1)] - 2 \exp(-2t/T_1) \},$$

где $\delta = \omega_0/K'T$, K' — постоянная Больцмана. Для $T=2$ К и $\omega_0=9140$ МГц $\Delta n(t)$ имеет максимум при $t \approx 0.7 T_1$. Увеличение интенсивности перехода на частоте ω'_0 при этом около 12%. Уменьшение вероятности ЗП приводит к уменьшению сигнала ОДН, а создание разности населенностей, соответствующей отрицательной спиновой температуре, — к увеличению.

На электронном переходе $1/2 \leftrightarrow -1/2$ случай равенства вероятностей РП и ЗП реализуется при $\theta=5^\circ$. В соответствии с расчетом на эксперименте эффект ОДН на переходе $1/2 \leftrightarrow -1/2$ наиболее четко наблюдается именно в этой ориентации (рис. 1). Так как вероятности РП и ЗП для нечетных изотопов Gd^{3+} имеют один порядок величины в широком диапазоне углов θ и на разных электронных переходах, область наблюдения ОДН соответственно достаточно велика.

Резонансное радиочастотное поле, изменяющее глубину провалов ДН, приводит к уменьшению сигнала ОДН. Поскольку на этих же резонансных частотах возможно образование индуцированных провалов [2], часто наблюдается суммарный эффект, проявляющийся в виде провала на месте,

где до действия радиочастотного поля была область с увеличенным поглощением.

В заключение следует отметить, что эффект, аналогичный ОДН, теоретически предсказывался в [3, 4] для случая лигандного электронно-ядерного взаимодействия.

Таким образом, хотя механизм образования сигнала ОДН в отличие от ДН [1] чисто релаксационный, его положение на СТС сигналов ЭПР определяется электронно-ядерным взаимодействием и может быть использовано для определения параметров СТВ. Кроме того, само наблюдение эффекта ОДН сразу указывает на наиболее существенные каналы электронной СРР в связанной системе электронных и ядерных спинов.

Л и т е р а т у р а

- [1] *Санадзе Т. И., Хуцишвили Г. Р.* В сб.: Проблемы магнитного резонанса. М.: Наука, 1978, с. 206—225.
- [2] *Горлов А. Д., Потапов А. П., Шерстков Ю. А.* ФТТ, 1985, т. 27, № 3, с. 625—630.
- [3] *Ефремов Н. А., Кожушнер М. А.* ЖЭТФ, 1969, т. 57, № 2, с. 534—546.
- [4] *Звиададзе М. Д., Фокина Н. П.* ФТТ, 1977, т. 19, № 7, с. 1937—1946.

Уральский государственный
университет им. А. М. Горького
Свердловск

Поступило в Редакцию
29 июня 1988 г.