

По сравнению со стробоскопическим осциллографом возрастает скорость накопления гистограммы, система более гибкая. Подобные системы могут найти применение при анализе локационных эхо-сигналов, где требуется перекрыть большой временной диапазон с хорошим временным разрешением и без больших пропусков по времени.

Список литературы

1. Watkinson P., Barrault M. R., Lewis P. G. // J. of Phys. E: Sci. Lustrum.— 1976.— V. 9.— N 9.— P. 697.
2. Baldis H. A., Azam-Zanganeh J. // Rev., Sci. Instrum.— 1973.— V. 44.— № 6.— P. 712.
3. Демчук М. И., Денисенко В. Н., Кузнецов В. П. А. С. 756487 СССР. Аналоговое запоминающее устройство. БИ.— 1980.— № 30.

Поступила в редакцию 05.02.85.

УДК 539.1

В. Г. БАРЫШЕВСКИЙ, С. А. КУТЕНЬ, В. И. РАПОПОРТ

КВАДРУПОЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ДИФФУЗИЯ МЮНИЯ В α -КВАРЦЕ

В настоящее время известны результаты нескольких экспериментов [1—5], посвященных изучению квадрупольного взаимодействия (КВ) мюния (Mu) в решетке α -кварца. Установлено, что константа КВ d и параметр асимметрии тензора градиента электрического поля (ГЭП) η , характеризующие соответственно величину и симметрию КВ мюния в α - SiO_2 , зависят от температуры образца: при $T \leq 80$ К $d \approx 9,44$ МГц, $\eta \approx 0,37$, а при $T \geq 200$ К $d \approx -0,55$ МГц, $\eta = 0$. Уменьшение абсолютной величины d с ростом T естественно связать с диффузией Mu в решетке [6]. Остается, однако, неясным, с чем же связано изменение знака квадрупольной постоянной при переходе к более высоким температурам: обусловлен ли высокотемпературный случай целиком диффузией или же имеют место, кроме того, какие-либо качественные изменения в волновой функции Mu .

Ниже показано, что наблюдаемое изменение величины и симметрии КВ мюния с решеткой α - SiO_2 при увеличении T обусловлено быстрой диффузией атома по своим низкотемпературным местам локализации.

Mu в α -кварце находится в состоянии, близком к вакуумному [1—5]. В этом случае, как показано в [6],

$$d = |e| \cdot Q \cdot \varphi_{zz}, \quad 0 \leq \eta = \left| \frac{\varphi_{xx} - \varphi_{yy}}{\varphi_{zz}} \right| \leq 1, \quad (1)$$

где Q — квадрупольный момент Mu в кристалле; φ_{ik} — обобщенный тензор ГЭП на мюнии; e — заряд электрона. При $T \geq 200$ К тензор φ_{ik} аксиально симметричен ($\eta = 0$), причем осью симметрии является тройная винтовая ось \hat{c} кристалла [1, 2, 5]. При $T \leq 80$ К тензор φ_{ik} полностью анизотропен [3, 4], однако ориентация его главных осей для Mu до сих пор не определена. Можно предположить, что Mu в α -кварце при низких T занимает те же места, что и водород, поскольку мюний (с точки зрения физики твердого тела) является легким изотопом атома водорода [7]. Такое предположение согласуется с выводами работ [3, 4, 6, 8]. В этом случае, следовательно, главные оси тензора φ_{ik} для Mu будут направлены следующим образом: ось x перпендикулярна к одной из осей симметрии 2-го порядка \hat{a} и составляет с осью \hat{c} угол $\alpha_0 \approx 25^\circ$; ось y коллинеарна с осью \hat{a} ; ось z составляет с осью \hat{c} угол $90^\circ - \alpha_0 \approx 65^\circ$.

Поскольку в кристалле α - SiO_2 имеются три эквивалентные оси 2-го порядка \hat{a} , направленные под углом 120° друг к другу и перпендикуляр-

ные к оси \hat{c} , то должны существовать три эквивалентных местоположения Ми в решетке, связанные с этими осями. Если скорость переходов атома между этими местоположениями $1/\tau$ много больше d , то его поведение определяется усредненным спиновым гамильтонианом, описывающим атом с квадрупольным моментом в неоднородном электрическом поле [9].

Перейдем в лабораторную систему координат (ЛСК) $x'y'z'$, ось z' которой направлена вдоль оси \hat{c} кристалла, а ось x' — под углом φ_0 к одной из осей \hat{a} . Составляющие градиента поля, которые атом «чувствует», находясь в одном из мест захвата, могут быть выражены в ЛСК с помощью обычных формул [10]:

$$\varphi_{ij}^{\prime} = \sum_{m,n} a_{mi} \cdot a_{nj} \cdot \varphi_{mn}, \quad (2)$$

где φ_{ij}^{\prime} и φ_{mn} — составляющие тензора ГЭП в ЛСК и в системе координат, связанной с его главными осями; $i, j, m, n = x, y, z$; a — матрица поворота. При переходах Ми из одного положения в другое главные оси тензора ГЭП «вращаются» вокруг оси z' , т. е. угол φ_0 является функцией времени, а угол α_0 фиксирован. В этом случае усреднение по возможным значениям φ_0 дает

$$\begin{aligned} \langle \varphi_{zz}^{\prime} \rangle &= [\sin^2 \alpha_0 - 0,5 \cos^2 \alpha_0 (1 - \eta)] \cdot \varphi_{zz}^{\prime} = -2 \langle \varphi_{xx} \rangle = -2 \langle \varphi_{yy} \rangle, \\ \langle \varphi_{xy}^{\prime} \rangle &= \langle \varphi_{yz}^{\prime} \rangle = \langle \varphi_{zx}^{\prime} \rangle = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Средний градиент поля, который «чувствует» Ми, совершающий быстрые перескоки между указанными выше положениями в решетке α -кварца, имеет аксиальную симметрию относительно оси $z' \equiv \hat{c}$, а константа КВ уменьшается в отношении $[\sin^2 \alpha_0 - 0,5 \cos^2 \alpha_0 (1 - \eta)]$. Подставляя сюда $\alpha_0 = 25^\circ$, $\eta = 0,37$, $d = 9,44$ МГц, получим, что $\langle d \rangle = -0,08d = -0,75$ МГц. Небольшое количественное расхождение с экспериментально наблюдаемым значением $d = -0,55$ МГц связано, по-видимому, с тем, что угол α_0 для Ми может немного отличаться от водородного значения вследствие изотопических эффектов.

Таким образом, можно утверждать, что высокотемпературный случай есть просто результат быстрых перескоков Ми между своими низкотемпературными положениями в решетке α -кварца и не связан с какими-либо качественными изменениями в атомной волновой функции.

Список литературы

1. Brewer J. H., Beder D. S., Spencer D. P. // Phys. Rev. Lett.—1979.— V. 42.— P. 808.
2. Brown J. A. et al. // Sol. State Commun.—1980.— V. 33.— P. 613.
3. Brewer J. H. et al. // Hyperfine Inter.—1981.— V. 8.— P. 405.
4. Holzschuh E., Kündig W., Patterson B. D. // Helv. Phys. Acta.—1981.— V. 54.— P. 552.
5. Барсов С. Г. и др. // Письма в ЖЭТФ.—1984.— Т. 39.— С. 278.
6. Baryshevskii V. G., Kutep S. A., Rapoport V. I. // J. Phys. C.—1983.— V. 16.— P. 6651.
7. Зеегер А. Положительные мюоны как легкие изотопы водорода // Водород в металлах.— М., 1981.— Т. 1.— С. 409.
8. Isoya J., Weil J. A., Davis P. H. // J. Phys. Chem. Sol.—1983.— V. 44.— P. 335.
9. Абрагам А. Ядерный магнетизм.— М., 1963.
10. Варшалович Д. А., Москалев А. Н., Херсонский В. К. Квантовая теория углового момента.— Л., 1975.

Поступила в редакцию 05.04.85.