

09;12

Нутационный ядерный квадрупольный резонанс в металлооксидных соединениях меди

© А.С. Ажеганов, И.В. Золотарев, А.С. Ким

Пермский государственный университет

Поступило в Редакцию 28 мая 1998 г.

В окончательной редакции 22 февраля 1999 г.

Впервые рассмотрена импульсная методика ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР), позволяющая исследовать соединения с широкими линиями, в частности металлооксидные соединения меди.

В случае ядер со спином $3/2$ спектр ЯКР содержит лишь одну линию, измерение резонансной частоты которой не позволяет отдельно определять два параметра квадрупольного взаимодействия: eQq_{zz} -константу квадрупольного взаимодействия и η -параметр асимметрии градиента электрического поля (ГЭП). Обычно измерение величины η производится с помощью наложения внешнего магнитного поля, т.е. эффекта Зеемана в ЯКР [1,2]. Внешнее поле расщепляет дважды вырожденные уровни квадрупольной энергии, приводя к сложному спектру ЯКР, по которому определяются необходимые параметры. Однако разные методики Зееман-эффекта применимы лишь при достаточно узких линиях ЯКР. В случае металлооксидных соединений, в особенности ВТСП, линии спектра ЯКР весьма широки ($\sim 10^2 \dots 10^3$) кГц, что не позволяет использовать эффект Зеемана.

Целью настоящей работы является разработка оптимальной импульсной методики ЯКР, применимой для исследования соединений с широкими линиями, в частности металлооксидных соединений меди.

Обычно ЯКР регистрируются на резонансной частоте ω_Q возбуждаемого перехода. Однако регистрацию ЯКР можно проводить также и на частоте нутации ядер, которая в случае ЯКР равна частоте ЯКР во вращающейся системе координат (ВСК) [3]. Измерение частоты нутации ω_n позволяет получить информацию о величине параметра η

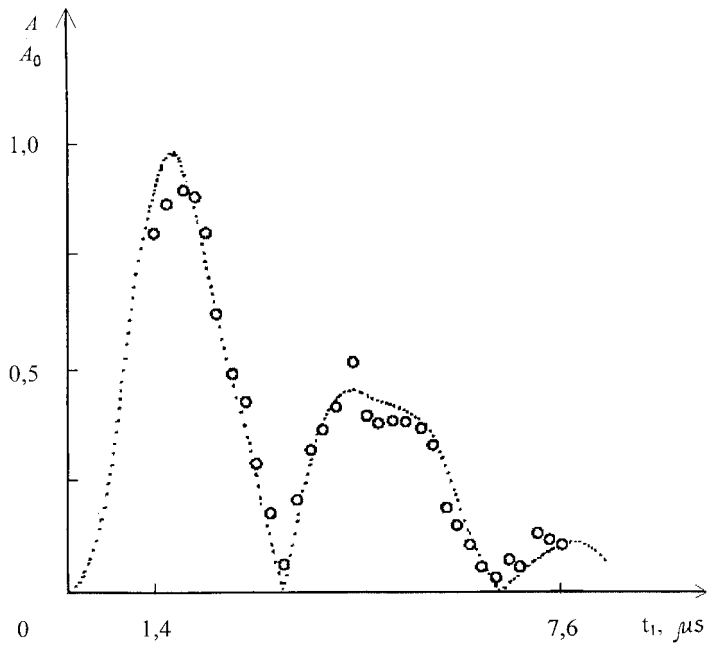


Рис. 1. Зависимость амплитуды спин-эхо ядер ^{63}Cu в $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (местоположение Cu1) от длительности импульсов при интервале между импульсами $\tau = 22 \mu\text{s}$.

ГЭП. Для спинов ядер $J = 3/2$ частота ω_n определяется выражением [4]:

$$\omega_n = 2\pi\nu_n = \frac{\omega_1}{\rho} \left[(\rho^2 - 1) \cos^2 \theta + \frac{1}{4} (2 + \rho^2 + 2\eta \cos 2\varphi) \sin^2 \theta \right]^{1/2},$$

$$\rho = \sqrt{1 + \frac{\eta^2}{3}}, \quad (1)$$

где η — параметр асимметрии ГЭП, $\omega_1 = \gamma H_1$ (H_1 — амплитуда радиочастотного поля), θ и φ — полярный и азимутальный углы вектора \mathbf{H}_1 в системе главных осей X, Y, Z ГЭП.

Из выражения (1) видно, что величина ω_n в монокристалле зависит от величины η , а также от ориентации осей ГЭП относительно напра-

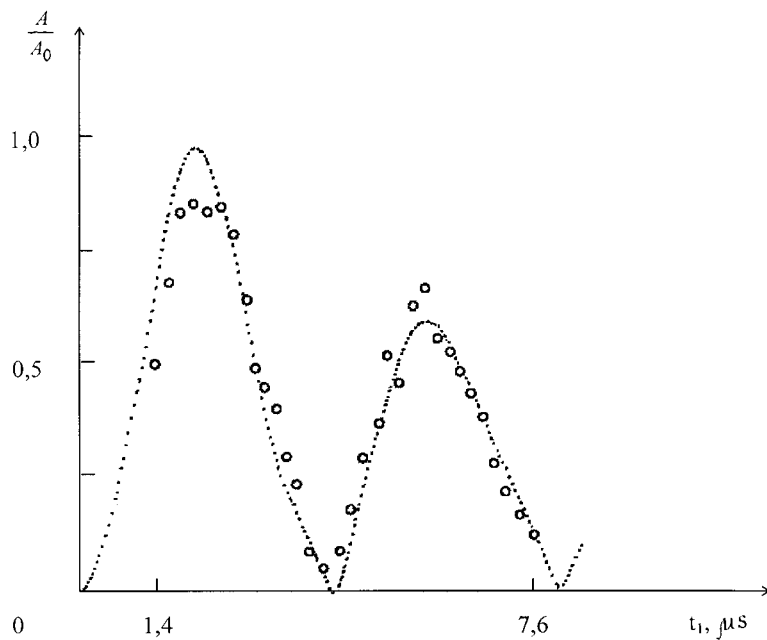


Рис. 2. Зависимость амплитуды спин-эхо ядер ^{63}Cu в $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (местоположение Cu2) от длительности импульсов при интервале между импульсами $\tau = 22 \mu\text{s}$.

вления радиочастотного поля. В тех случаях, когда имеется несколько местоположений квадрупольных ядер в решетке, их частоты нутационного ЯКР могут быть различимы даже при одинаковых квадрупольных параметрах eQq_{zz} и η ядер, но при разных ориентациях осей ГЭП в их местоположениях.

При двухимпульсной методике возбуждения сигналов эха амплитуда эха зависит от трех независимых временных параметров (длительности первого импульса t_1 , длительности второго импульса t_2 и интервала между ними τ), поэтому можно использовать три варианта наблюдения модуляционного эффекта огибающей спинового эха.

Рассмотрим один из них, когда варьируются длительности первого и второго импульсов (причем $t_2 = 2t_1$) при выбранном значении τ .

Амплитуда эха в этом варианте в случае поликристалла определяется выражением

$$E(t_1, \omega_1, \eta) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \theta \left(\omega_n \sin^3(\omega_n t_1) \right) d\theta d\varphi. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что модуляция амплитуды спинового эха происходит с частотой ω_n .

В ВТСП $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-d}$ эксперименты проводились на ядрах ^{63}Cu на частотах 31.13 МГц (Cu2) и 22.24 МГц (Cu1). Длительность первого импульса t_1 варьировалась от 1.4 до 7.6 μs с шагом 0.2 μs (длительность второго импульса $t_2 = 2t_1$) при интервале между импульсами $\tau = 22 \mu s$.

На рис. 1 и 2 показаны наблюдаемые эффекты модуляции амплитуды эха ^{63}Cu в этой иттриевой керамике. Линия ЯКР ^{63}Cu на частоте 31.13 МГц имеет значительную ширину ~ 0.2 МГц, которая становится сравнима с шириной спектра радиоимпульсов, а затем превышает ее по мере увеличения их длительности (в эксперимент внесена поправка, учитывающая сужение спектра радиоимпульсов). На этих же рисунках нанесены расчетные зависимости амплитуд эха от длительностей радиоимпульсов для случаев $\eta = 0.3$ (Cu2) и $\eta = 0.8$ (Cu1). Из сопоставления картин модуляционного эффекта видно, что в позиции Cu1 (рис. 1) параметр асимметрии ГЭП близок к 1, в позиции Cu2 (рис. 2) параметр асимметрии значительно меньше, $\eta = 0.3$.

Таким образом, имеется хорошее качественное согласие теории и эксперимента по нутационному ЯКР, позволяющему проводить оценки величины асимметрии ГЭП для спектров ЯКР с широкими линиями.

Список литературы

- [1] *Dean C.* // Phys. Rev. 1954. V. 96. N 4. P. 1053–1059.
- [2] *Cohen M.H.* // Phys. Rev. 1954. V. 96. N 5. P. 1278–1284.
- [3] *Айнбиндер Н.Е., Фурман Г.Б.* // ЖЭТФ. 1983. Т. 85. № 3. С. 988–999.
- [4] *Айнбиндер Н.Е., Осипенко А.Н.* // Изв. вузов. Радиофизика. 1983. Т. 26. № 12. С. 1617–1618.