

Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 240 – 244

20 сентября 1969 г.

**ДВОЙНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНЫЙ МАГНИТО-АКУСТИЧЕСКИЙ
РЕЗОНАНС И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ Cr^{3+} - Al^{27} В РУБИНЕ**

В.А.Голенищев-Кутузов, У.Х.Ковсилем, Н.А.Шамухов

Впервые осуществлено детектирование акустического ЯМР при помощи электронной спин-системы: В лазерном монокристалле рубина на фоне линий ЭПР ионов Cr^{3+} , в виде провалов получены линии акустического

ЯМР ядер ^{27}Al как функция частоты ультразвука. Этот новый принцип детектирования акустического ЯМР повышает чувствительность акустических измерений, позволяет исследовать электронно-ядерные взаимодействия в кристаллах и выяснять динамику возникновения двойных резонансов в многокомпонентных квантовых системах.

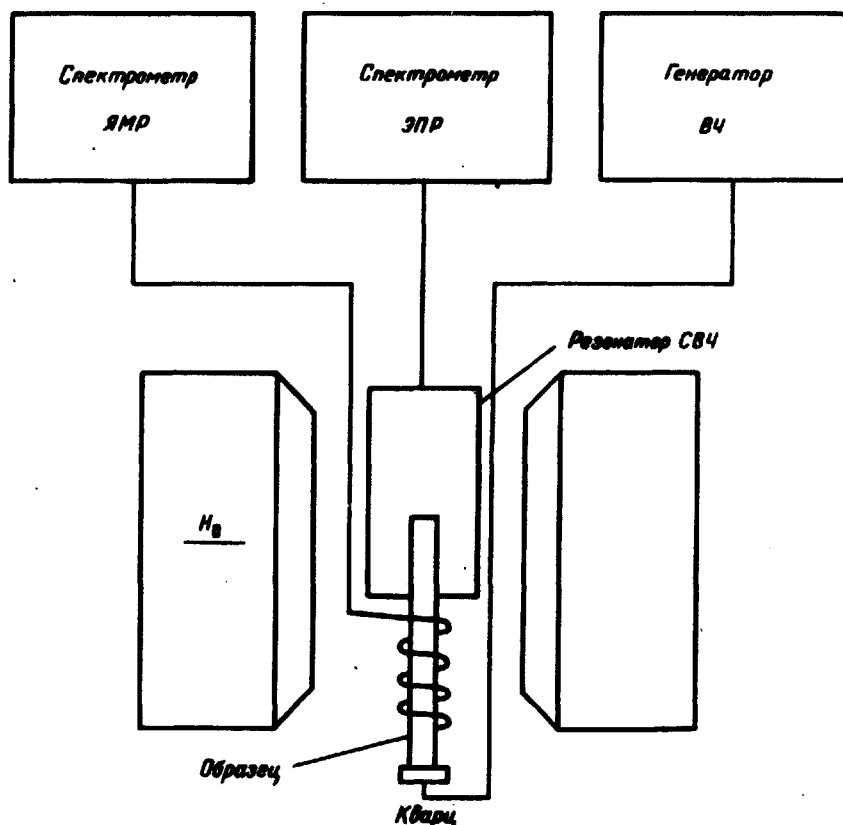


Рис. 1 Блок-схема спектрометра акустического двойного электронно-ядерного резонанса

Как известно [1], электронная кросс-релаксация играет важную роль при перераспределении энергии, поглощенной спинами Cr^{3+} в процессе ЭПР в Al_2O_3 , а также установлении стационарной разности заселенностей электронной спин-системы и интенсивности сигнала ЭПР. Однако, ввиду малой теплоемкости диполь-дипольного резервуара $\text{Cr}^{3+} - \text{Cr}^{3+}$, в отсутствие оттока энергии из нее, роль кросс-релаксации ничтожна в случае стационарного насыщения ЭПР. Экспериментальные работы последних лет над рубином показали [2], что отток энергии из диполь-дипольной системы $\text{Cr}^{3+} - \text{Cr}^{3+}$ идет через тесную связь этой системы с зеемановским резервуаром спинов ^{27}Al . Отсюда возникла идея использовать это обстоя-

ятельность для детектирования акустического ЯМР на Al^{27} : насыщая акустический ЯМР на ядрах Al^{27} , мы перекроем канал оттока энергии из диполь-дипольной системы $Cr^{3+} - Cr^{3+}$, что приведет к замедлению продольной релаксации ионов Cr^{3+} и убыванию интенсивности сигнала ЭПР. Описанный ниже эксперимент подтвердил пригодность нашей новой схемы наблюдения акустического ЯМР.

Исследования двойного электронно-ядерного магнито-акустического резонанса были выполнены на лазерном монокристалле рубина, содержащим 0,05 ат. % Cr^{3+} . Образец представлял собой шестигранный стержень длиной 47 мм и толщиной 5 мм с тригональной осью C параллельной торцам (рис. 1). Один конец образца помещался в прямоугольный резонатор отражательного типа спектрометра ЭПР. К другому торцу образца, покрытому слоем серебра, присоединялись кварцевые преобразователи на соответствующие диапазоны частот. Для возбуждения в образце акустических волн, кварцевый преобразователь, через согласующее устройство, подключался к высокочастотному генератору с плавной перестройкой частоты. Снаружи кварцевый преобразователь был заключен в экран для защиты образца от электромагнитных волн, возбуждающих кварц. Во всех экспериментах проверялось отсутствие влияния таких электромагнитных колебаний на сигнал ЭПР, заменой кварца на непьезодиэлектрик одинаковых размеров. Переменная деформация, возникающая при распространении звуковой волны, предварительно измерялась емкостным датчиком, а в ходе измерения двойного резонанса контролировалась импедансным методом.

Поскольку, нами использовался образец с плоскопараллельными торцами, то в нем через определенные интервалы (~ 100 кГц) возникают продольные механические резонансы, характеризующиеся резким возрастанием интенсивности колебаний. Для частотного свиппирования нами выбирались участки между механическими резонансами, где амплитуда деформации изменялась мало.

Методика измерения двойного электронно-ядерного магнито-акустического резонанса заключалась в следующем: магнитное поле H_0 || оси C рубина устанавливалось в точке $H_0 = 2700$ Гс, соответствующим максимуму первой производной линии ЭПР ионов Cr^{3+} для перехода $(1/2 \leftrightarrow -1/2)$.

Одновременно вдоль образца возбуждались продольные звуковые волны, перпендикулярные как H_0 так и оси C рубина. Далее при постоянном H_0 , регистрировались изменения в величине первой производной сигнала поглощения при свиппировании частоты акустических колебаний.

При этом наблюдалось уменьшение сигнала ЭПР в среднем на 15% при относительной деформации $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ на частотах акустического возбуждения, соответствующих для данного H_0 и ориентации кристалла переходам ядерного спина Al^{27} между уровнями с $\Delta m = \pm 1$ и $\Delta m = \pm 2$ (рис. 2). Форма таких резонансных линий гауссова и была рассчитана с учетом значений амплитуд деформации в пределах резонансного пика.

Коэффициент поглощения ультразвука $\tau_a \sim 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ на спин-системе Al^{27} в Al_2O_3 очень мал из-за неэквидистантности уровней энергии Al^{27} и большой ширины линии акустического ЯМР ($\Delta\nu_a \sim 2 \cdot 10^4 \text{ сек}^{-1}$). Поэтому до настоящего времени отсутствуют данные о прямом измерении для τ_a в корунде (метод А). Более перспективным оказался метод В



Рис. 2. Сигналы АЯМР Al^{27} : а — для перехода $1^{1/2} \leftrightarrow 3/2$, б — для перехода $1^{1/2} \leftrightarrow 5/2$

насыщения обычного ЯМР звуком [3], однако при этом был применен интенсивный звук, что препятствовало подробно изучать форму линии акустического ЯМР. Метод В двойного электронно-ядерного магнитоакустического резонанса чувствительнее метода В примерно в

$$\eta = (1/3)/(1/8) \left[\frac{l(l+1)(h\nu_a)^2 N}{(h\nu_y)^2 n} \right] \text{ раз, где } l \text{ — ядерный спин, } \nu_y \text{ и}$$

ν_a — соответственно частоты ЭПР и ЯМР, $\Delta\nu_y$ — ширина линии ЭПР, N/n — концентрация парамагнитных ионов в кристалле. Это соотношение отражает тот факт, что тепловой резервуар спинов Al^{27} заменяется резервуаром диполь-дипольных взаимодействий $Cr^{3+} - Cr^{3+}$, а частота ЯМР частотой ЭПР, причем учтен тот факт, что ширина линии ЭПР превышает ширину линии ЯМР.

При $\Delta \nu_3 = 6 \cdot 10^7 \text{ сек}^{-1}$ получаем $\eta \sim 10^3$, что находится в разумном согласии с результатами работы [3]. Таким образом, наша работа подтверждает существование тесной связи между системами $\text{Cr}^{3+} - \text{Cr}^{3+}$ и Al^{27} , что может объяснить природу спин-решеточной релаксации ядер Al^{27} в рубине. Перспективность метода двойных резонансов в квантовой акустике подтверждают также данные недавно обнаруженных эффектов этого класса: исследование акустического ЯМР при помощи обычного ЯМР [4], поляризация ядер Si^{29} гиперзвуком [5] и модуляция сигнала акустического ЭПР иона U^{4+} в CaF_2 при помощи ЯМР [6].

Казанский

физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
18 июля 1969 г.

Литература

- [1] У.Х.Копвиллем. ФТТ, 2, 1829, 1960.
- [2] R.L.Kuhl. B.D.Nageswara-Rao. Phys. Rev., 158, 284, 1967.
- [3] Ю.В.Владимирцев, В.А.Голенищев-Кутузов, У.Х.Копвиллем. ФТТ, 9, 361, 1967.
- [4] Ю.В.Владимирцев, В.А.Голенищев-Кутузов, У.Х.Копвиллем, Н.А.Шамуков. Письма в ЖЭТФ, 9, 85, 1969.
- [5] К.Н. Hausser, D. Schweitzer. Proc. XV Colloque A.M.P.E.R.E. Grenoble, Sept. 1968, North-Holland. Publ. Company, Amsterdam, p. 453.
- [6] C.M. Bowden, H.C. Meger, P.F. McDonald. Phys. Rev., 22, 224, 1969.

Письма в ЖЭТФ, том 10, стр. 244 - 249

20 сентября 1969 г.

ГЕНЕРАЦИЯ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА $\lambda = 2120 \text{ \AA}$ ПУТЕМ КАСКАДНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

А.Г. Акманов, С.А. Азманов, Б.В. Жданов, А.И. Ковригин,
Н.К. Подсосская, Р.В. Хохлов

1. Предметом настоящей работы является изложение результатов экспериментальной работы, приведшей к созданию источника интенсивного когерентного излучения на длине волны $\lambda = 2120 \text{ \AA}$. Ультрафиолетовое