

При изменении температуры или давления в некоторых кристаллах возникает перестройка структуры — структурный фазовый переход. Изучение фазовых переходов различной природы в кристаллах — одна из проблем физики твердого тела. Структурные и сегнетоэлектрические переходы связаны с появлением в кристалле особых электрических, электромеханических и оптических свойств, которые представляют большой интерес для практических применений во многих областях техники. При исследованиях таких переходов изучаются не только конкретные свойства кристаллов диэлектриков и их семейств в области фазовых переходов, но и принципиальные вопросы физики твердого тела — такие, как причины и механизмы переходов и критические явления, а также ведется поиск новых кристаллов с оптимальными для практических целей свойствами.

Эти работы требуют комплексного подхода к проблеме. Для ее решения в Институте физики СО АН СССР развит ряд экспериментальных методов (рентгеновские, радиоспектроскопические, оптические, диэлектрические, калориметрические и другие), которые позволяют изучать различные свойства кристаллов. Налажено активное сотрудничество теоретиков и экспериментаторов.

На пути этих исследований были получены серьезные научные результаты, касающиеся механизмов фазовых переходов во многих семействах кристаллов. Некоторые работы отмечались премиями Президиума СО АН СССР. Для практических применений в акусто- и оптоэлектронике найдены новые материалы.

В работах последних лет выделяется одно из молодых бурно развивающихся в мире направлений физики фазовых переходов.

В любом школьном и вузовском учебнике по физике кристалл рассматривается как дискретная среда с определенной симметрией. Все свойства кристалла определяются периодичностью его строения в трех измерениях. На этом свойстве периодичности основаны все современные теории твердого тела, методы изучения строения кристалла и, в частности, все представления о механизмах фазовых переходов.

В последние годы в ряде кристаллов, в том числе сегнетоэлектрических, обнаружены так называемые несоразмерные фазы. Само явление несоразмерной модуляции структуры оказывается близким целому кругу родственных явлений. Исторически первыми, по-видимому, были обнаружены так называемые геликоидальные магнитные структуры, теорию которых впервые предложил И. Дзялошинский. Потом были найдены волны зарядовой плотности в полупроводниках. В двух пос-

трехмерно-периодических структур.

В Институте физики в 1977 году впервые в мире были начаты радиоспектроскопические и оптические исследования несоразмерных фаз сегнетоэлектриков. Уже в первых опытах необычные явления не замедлили проявиться. Вместо, скажем, нескольких изолированных линий ядерного магнитного резонанса в обычном кристалле здесь возникли сплошные спектры («континуумы»), захватывающие целую область частот. Их форма,

модулированных систем: в кристаллах первого типа исходная структура модулирована плоской синусоидальной волной. Более распространен случай, когда этот вид модуляции существует только в ограниченной области, а основная область несоразмерной фазы описывается очень сложной, меняющейся с температурой, картиной решетки фазовых солитонов, предсказанной И. Дзялошинским. Этот эффект наблюдался нами впервые в 1978 году и в настоящее время подтвержден в Югосла-

в кристаллов с примесями была увеличена эффективность преобразования лазерного излучения в  $10^6$  раз.

Наблюдение в колебательных спектрах первого порядка фоонов с ненулевыми волновыми векторами — одно из наиболее ярких результатов оптической спектроскопии несоразмерных кристаллов. В частности, методом лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния света в несоразмерной фазе  $Rb_2ZnCl_4$  получены дисперсионные кривые для некоторых фоонов.

Начатые в Институте физики исследования по оптике и радиоспектроскопии несоразмерных кристаллов явились методической основой, на которой в настоящее время ведутся подобные исследования во многих странах мира (Югославия, США, Япония, Франция, Голландия), а в основных направлениях развития оптики и радиоспектроскопии несоразмерных фаз институт сохраняет лидирующее положение.

В этой работе принимал участие большой коллектив научных сотрудников, в их числе: В. И. Зиненко, А. И. Круглик, Б. В. Безносиков, А. К. Москалев, А. Н. Втюрин, И. С. Кабанов, И. А. Белоброва и другие. По теме работы защищено около 20 кандидатских диссертаций, подготовлены две докторские диссертации и две монографии.

Следует отметить, что модулированные структуры достаточно широко распространены в природе: это не только сегнетоэлектрики, но и минералы, жидкие кристаллы, абсорбированные слои. В принципе разработанные методы важны для описания и прогнозирования свойств реальных кристаллов с неидеальной структурой.

Полученные результаты по увеличению эффективности преобразования лазерного излучения и его модуляции указывают на перспективность этих материалов в оптоэлектронике и лазерной технике.

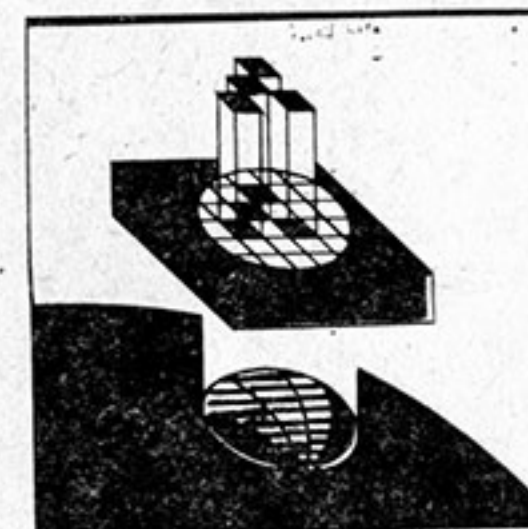
**И. АЛЕКСАНДРОВА,  
В. ШАБАНОВ,  
К. АЛЕКСАНДРОВ.**

Институт физики им. Л. В. Киренского СО АН СССР.

г. КРАСНОЯРСК.

# ПОИСК НОВЫХ КРИСТАЛЛОВ

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТРУКТУРНЫХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ



ледних системах модуляция проявляется в электронной подсистеме, почти не захватывая решетку, в то время как при переходе в структурно-модулированную фазу возникает новое состояние кристаллической решетки.

В простейшем варианте такую структуру можно представить как результат модуляции исходной трехмерно-периодической структуры синусоидальной волной смещений, период модуляции много больше и не кратен (несоизмерим) периоду исходной решетки. При этом смещения становятся неперидической функцией координат, и кристалл теряет трехмерную пространственную периодичность. Это, однако, не аморфное состояние. Показано, что несоразмерная фаза описывается в рамках цветной позиционной симметрии, а в указанном выше простейшем случае, — четырехмер-

ной пространственной группой. Естественно, что методы исследований, которыми изучается структура и локальные свойства кристалла на микроуровне, должны были столкнуться с классом явлений, не описываемых теориями, развитыми для

ширина и интенсивность изменялись с температурой, на фоне континуумов вдруг появлялись новые линии, их число, как сначала казалось, менялось бессистемно. Немало необычного встретилось и в оптических спектрах.

Именно поэтому на первом этапе пришлось развивать теорию радиоспектроскопических и оптических методов, выяснить причины аномальной формы линии, ее температурной и ориентационной зависимости в спектрах ЯМР, ЯКР и ЭПР пространственно модулированных структур и рассматривать механизм аномального поведения ядерной спин-решеточной релаксации. В итоге была развита теория метода и созданы программы для ЭВМ, позволяющие из сопоставления параметров развитой модели с экспериментальными данными определять характер пространственной моду-

ляции и ее структурные характеристики: амплитуду волны несоразмерных смещений, направление оси модуляции и плоскость смещений в модулированной волне.

Экспериментально установлено существование двух типов

вии, США и Японии. Впервые были измерены параметры, характеризующие так называемое «критическое» поведение несоразмерного кристалла в области фазовых переходов. Получена температурная зависимость плотности солитонов, являющаяся тестовой характеристикой в теоретических моделях, учитывающих сильные ангармонические взаимодействия в несоразмерном кристалле. В экспериментах по ЯМР был также продемонстрирован принцип сохранения абстрактной симметрии при фазовом переходе — соразмерная фаза — несоразмерная.

На основе многомерных групп разработана методика вывода правил отбора для оптических и спектральных процессов (генерация оптических гармоник, ИК и КР-спектроскопия). Предсказано и осуществлено экспериментально согласование фаз волн первой и второй гармоник

за счет волны модуляции. Последние параметры можно варьировать изменением температуры, введением примеси или внешним электрическим полем. Это позволяет осуществить синхронизм практически в любых средах. В одном из кубических