538.9(049.3)

ФОНОНЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Phonon Scattering in Condensed Matter: Proceedings of the Fifth International Conference. University of Illinois, Urbana-Champaign, USA, June 2—6, 1986/Eds A. C. Anderson, J. P. Wolfe.— Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo: 1986.—408 p.— (Springer Series in Solid-State Sciences. V. 68).

Книга содержит тезисы 112 докладов 125 ученых из 14 стран, представленных на очередную международную конференцию по фононам в конденсированных средах. Предыдущие конференции состоялись в 1972, 1975, 1979 и 1983 гг. Доклады тематически сгруппированы по следующим разделам:

1. Стекла и двухуровневые системы.
2. Электрон-фононное взаимодействие и сверхпроводимость.
3. Фононы в полупроводниках.
4. Тонкие пленки, поверхность и термализация.
5. Квантовые жидкости и сопротивление Капицы.
6. Рассеяние фононов в диэлектриках.
7. Фононные изображения.
8. Фононы с большими волновыми векторами и оптические методы.
9. Новые методики и явления.

Изложим вкратце основные моменты, составившие содержание этих разделов.

1. Хорошо известно, что при низких температурах теплопроводность неупорядоченных кристаллов (стекол) меняется как T^2, затем выходит на плато при $1 \lesssim T \lesssim 10$ K и растет при дальнейшем увеличении T. Особенности в рассеянии фононов при низких температурах ($T \lesssim 1$ K) феноменологически объяснимы наличием «двухуровневых состояний» (ДУС), которые предположительно возникают в результате квантового туннелирования атомов или группы атомов. Микроскопической теории ДУС пока нет. Анализ данных по различным неупорядоченным кристаллам (A. M. de Goër, Франция) приводит к заключению о том, что: а) плато, по-видимому, не объясняется только ДУС и возникает, скорее, из-за сильной связи между акустическими фононами и низкоэнергетическими модами; б) ДУС есть не только в аморфных, но и в слабо-разупорядоченных областях; в) наиболее подходящим кандидатом для микроскопической теории ДУС являются ян-теллеровские дефекты, сильно связанные с решеткой. Зависимость транспортной длины пробега l от частоты фонона ν оказывается универсальной функцией: $l^{-1} = Av + Bv^4$ (J. M. Grace, A. C. Anderson, США) — факт, не получивший пока последовательной интерпретации. Имеется ряд возможных механизмов для объяснения теплопроводности при T > 10 K (B. Golding, J. E. Graebner, L. C. Allen, США), однако еще не ясно, какому из них отдать предпочтение. Туннелирующие атомы, формирующие ДУС, в металлах связаны и с электронами проводимости. Поэтому заслуживает внимания различие в поведении ДУС аморфных металлов в нормальном и сверхпроводящем состояниях (S. Hunklinger, P. Esquinazi, H. M. Ritter, H. Neckel, G. Weiss, ФРГ). Получены детальные данные о кристаллах кварца, в которых ДУС создаются как нейтронным (R. Vacher, J. Pelous, N. Elkhayati Elidrissi, M. Boissier, Франция; N. Vanreyten, L. Michiels, Бельгия), так и электронным (A. Vanelstraete, C. Laermans, Бельгия) облучением. Очевидно, «стекла» будут оставаться объектом интенсивного излучения.

2. Сверхпроводящие туннельные константы являются эффективным детектором фононного спектра различных неравновесных систем. С использованием таких детекторов показано, что, в отличие от трехмерного случая двумерный электронный газ (в МОП-структуре) обладает при разогреве не-

планковским спектром излучения (M. Rothenfusser, L. Koesler, W. Dietsche, ФРГ). Показано также, что спектр излучения гранулированного алюминия, возникающий при его джоулевом разогреве, определяется структурой грануляции и практически не зависит от уровня диссипируемой мощности (P. Berberich, H. Kinder, ФРГ). Эксперименты по поглощению ультразвука в сверхчистых (99,9999%) кристаллах алюминия позволили выявить влияние дислокаций на формирование щели в спектре электронных возбуждений, причем с ростом концентрации дислокаций щель сначала возрастает, затем резко обрывается и возрастает вновь (Y. Kogure, M. Sekiya, H. Ohtsuka, Y. Hiki, Япония).

3. Усилился интерес к взаимодействию фононов со сверхрешетками в полупроводниках. Методами фононной спектроскопии с применением туннельных сверхпроводящих контактов было показано, что при прохождении высокочастотных (до 900 Гц) акустических фононов через аморфные сверхрешетки, в частности, через 7 слоев SiO_2/Si (толщиной $\sim$100 Å) образуются резкие провалы в спектре пропускания (O. Koblinger, J. Mebert, E. Dittrich, S. Döttinger, W. Eisenmenger, ФРГ). Тем самым, имеется возможность использования таких систем в качестве частотного фильтра для фононов.

Широко представлена методика изучения мелких и глубоких примесных уровней, основанная на «фононной ионизации» примесей с регистрацией изменения проводимости (K. Lassmann, W. Burger, ФРГ).

4. Исследуются эффекты, связанные с «приготовлением» поверхностей или с влиянием адсорбированных на поверхности слоев молекул на процесс отражения фононов (T. Klitsner, R. O. Pohl; L. Koester, S. Wurdack, W. Dietsche, H. Kinder, ФРГ). Условия эксперимента давали возможность фононам испытать ~10^2 отражений в течение диффузного или термализационного времен жизни, что позволило изучить эти процессы в зависимости от внешних факторов (W. Knaak, T. Hauss, M. Kummow, M. Meissner, ФРГ).

5. «Идеальная» акустическая модель хорошо объясняет сопротивление Капицы (возникающее при прохождении фононов через границу кристалла с гелием или с другим кристаллом) при низких температурах (или частотах). При высоких частотах наблюдаются аномалии, которые могут быть объяснены разными моделями, в связи с чем представлен подробный анализ экспериментальных данных (W. Eisenmenger, ФРГ). Высказывается мнение, что уменьшение проводимости Капицы при $T > 10$ K связано с диффузным рассеянием (E. T. Swartz, R. O. Pohl, США). Развита методика, позволившая впервые с достаточно высокой точностью (~5%) убедиться в обратимости сопротивления Капицы (Xu Yun-hui, Zheng Jia-qi, Guan Wei-yan, КНР). Анализируются и сравниваются дисперсионные кривые $\omega(q)$ в сверхтекучих ^{4}He и ^{3}He (A.F.G. Wyatt, Англия). Наблюдена «псевдоодномерная» мода второго звука в сверхтекучем ^{4}He (J. P. Eisenstein, V. Narayanamurti, США). Как и предсказывалось теорией, скорость этой моды оказалась в $\sqrt{3}$ раз больше скорости обычного второго звука (т. е. порядка скорости первого звука).

6. Применение импульсной методики рассеяния фононов в диэлектриках позволило разрешить спектры некоторых примесных редкоземельных ионов, недоступные исследованию методами ИК-спектроскопии (J. Mebert, O. Koblinger, S. Döttinger, W. Eisenmenger, ФРГ). Исследовалось также рассеяние фононов на точечных дефектах (P. G. Klemens, США), дислокациях (Y. Hiki, T. Kosugi, Y. Kogure, Япония), границах зерен (C. Wood, D. Whittenberger. США; R. A. Brown, Австралия) и магнонах (G. V. Lecomte, H. V. Lohneysen, J. Wosnitza, W. Zinn, ФРГ).

7. Вызванное анизотропией кристаллов хорошо известное явление фононной фокусировки претерпевает качественную перестройку, когда волновой вектор фонона близок к границе зоны Бриллюэна и существенна дисперсия фононов. «Фононные изображения», регистрируемые частотно-селективными детекторами, при баллистическом распространении коротковолно-

вых фононов содержат информацию, важную для анализа динамики решеточных моделей (S. E. Hebboul, D. J. van Harlingen, J. P. Wolfe, США). Распределение интенсивности сфокусировавшихся фононов определяется каустиками, которые зависят от упругих констант и могут изменяться при пьезоэлектрическом «ужесточении», в результате происходит значительное искажение каустик (A. K. McCurdy, США). Как показывают расчеты, «псевдоповерхностные» волны могут сильно видоизменять каустики, например образовывать наблюдаемые «гало» (A. G. Every, ЮАР).

8. Обсуждались вопросы, связанные с генерацией монохроматического стимулированного излучения оптически возбужденными уровнями Cr^{3+} в рубине, александрите и других кристаллах при низких температурах. Быстрые безрадиационные распады вибронных примесных уровней приводят к излучению фононов с волновыми векторами, близкими к границе зоны Бриллюэна, что, в свою очередь, вызывает наблюдаемые комбинационные переходы электронов (J. I. Dijkhuis, Голландия). Исследование динамики электронов, фононов и их взаимодействия переходит на качественно новый уровень с появлением пико- и фемтосекундных лазеров. Установлено, в частности, что горячие носители в полярных кристаллах распадаются каскадным образом, с длительностью каскадов около 150 фс (W. E. Bron, США). Интересна попытка вывода чисел Линдемана с помощью весьма простых теоретических предпосылок, связанных с принципом неопределенности и скоростью трехфононного распада на границе зоны Бриллюэна (B. H. Armstrong, США).

9. С использованием подвижного источника гиперзвука развит интерференционный метод акустической топографии тонких пленок (O. Weis ФРГ). Применение двойных туннельных контактов позволило регулировать щель в спектре возбуждений сверхпроводящего детектора (одного из контактов), что создало новые возможности для детектирования фононов (I. Iquchi, Y. Kasai, Япония). Исследуется поглощение монохроматических фононов двумерным электронным газом в режиме целочисленного квантового эффекта Холла при различных магнитных полях; частотным селектором служит сам сверхтекучий ^{4}He, полоса пропускания которого варьируется давлением; предполагается использование аналогичной методики для наблюдения щели в режиме дробного квантового эффекта Холла (J.P. Eisenstein, V. Narayanamurti, H. L. Stormer, A. Y. Cho, J. C. M. Hwang, США). Предполагается использовать фокусировку при баллистическом распространении фононов для конструирования пространственно-разрешающих детекторов солнечных нейтрино (H. J. Maris, США).

В целом конференция охватила очень широкий, хотя и не весь (в особенности это относится к разделу 2) круг вопросов, относящихся к физике фононов в конденсированных средах. Доклады, включенные в данную книгу, представляют, несомненно, большую научную ценность и будут чрезвычайно полезны для специалистов.

А. М. Гулян