

АНГАРМОНИЗМ ОПТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ GaAs В СВЕРХРЕШЕТКАХ GaAs/AlAs

А.Г.Милехин, Ю.А.Пусеп, А.И.Торопов

Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН
630090, Новосибирск

Поступила в редакцию 26 марта 1992 г.

В температурной зависимости оптических колебательных мод, локализованных в слоях GaAs, обнаружены особенности, обусловленные ангармонизмом оптических колебаний GaAs. Впервые экспериментально определены параметры Грюнайзена локализованных оптических колебаний вдали от центра зоны Бриллюэна.

До настоящего времени, исследование ангармонизма оптических колебаний в кристаллах GaAs методами рамановского рассеяния^{1,2} и ИК спектроскопии³ ограничивалось Γ точкой зоны Бриллюэна, ввиду того, что взаимодействие фононов со светом происходит при ничтожно малых волновых числах ($q \approx 0$). Такое ограничение было снято с прогрессом в технологии молекулярно-лучевой эпитаксии, позволившей создавать периодические структуры с тонкими чередующимися слоями (например, GaAs и AlAs) высокого качества и с совершенными границами. В случае, если дисперсионные зависимости фононов в материалах, составляющих сверхрешетку, не перекрываются, фононы оказываются локализованными в слоях, а исследуемый спектр становится дискретным $q_m = \frac{\pi}{na}m$, где a - толщина монослоя, n - число монослоев соответствующего слоя, $m = 1 \div n$. Согласно правилам отбора, возможно возбуждение ИК светом локализованных мод с нечетным m .

Недавно в⁴ была обнаружена локализация поперечных оптических (TO) фононов в слоях сверхрешеток GaAs/AlAs в ИК спектрах отражения.

В настоящей работе исследованы температурные зависимости локализованных мод GaAs в сверхрешетках GaAs/AlAs, свидетельствующие об ангармоническом характере оптических колебательных мод GaAs.

Исследовались сверхрешетки $(\text{GaAs})_n/(\text{AlAs})_m$, где $n = m = 17$ - число монослоев в слоях GaAs и AlAs с числом повторения 50. Сверхрешетки были выращены в Институте физики полупроводников СО РАН методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках из GaAs, ориентированных в направлении [100]. Спектры отражения записывались в области TO -колебаний GaAs при температуре $4 \div 300$ К при помощи ИК фурье-спектрометра Bruker IFS-113V. Измерения отражения проводились под углом, близким к нормальному.

Частоты локализованных TO мод (ω_j) определялись при различных температурах по методике, описанной ранее в⁴. На рис.1 представлены температурные зависимости TO -мод, локализованных в слоях GaAs, и их производные по температуре $d\omega_j/dT$. Штриховой линией показана температурная зависимость, измеренная в объемном кристалле GaAs. Из рисунка видно, что с ростом номера локализованной моды происходит изменение вида температурной зависимости. Начиная с третьей локализованной моды, при температуре $T = 160$ К в спектрах производной появляется отчетливый минимум. Измеряемое нами температурное изменение частот локализованных мод обусловлено ангармоническими взаимодействиями, благодаря которым появляется собственная энергия, вызывающая сдвиг частоты свободного фонона⁶. При этом два вклада оказываются существенными. Первый обусловлен тепловым расширением, а второй - эффектами фонон-фононного взаимодействия. Как мы полагаем, уменьшение частот локализованных мод, наблюдаемое нами при температуре

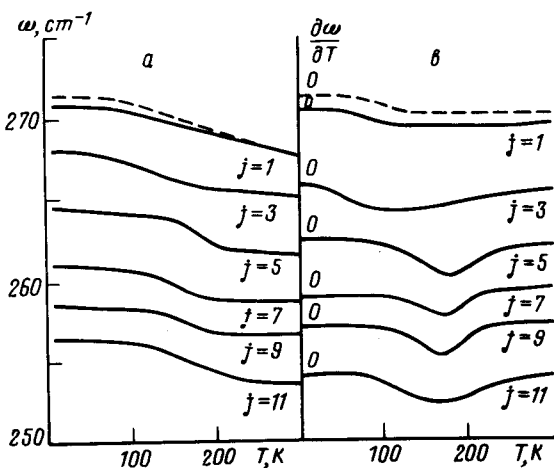


Рис.1. Температурные зависимости частот (а) и производных частоты по температуре $\partial\omega_j/\partial T$ (б) поперечных колебательных мод, локализованных в слоях GaAs (сплошная линия). Штриховая линия соответствует температурной зависимости частоты объемного TO -фонона GaAs (а) и ее производной по температуре (б). Индекс j указывает номер локализованной моды

≈ 160 К, вызвано, в основном, тепловым расширением, а последующий рост – взаимодействием оптических фононов с виртуальными акустическими фононами. Вероятность такого процесса в сверхрешетках может быть выше, чем в кристалле, так как, с одной стороны, вследствие локализации оптических фононов нарушаются правила отбора по импульсу, а, с другой стороны, из-за свертки акустических фононов появляются новые акустические ветви, способствующие фонон-фононному взаимодействию.

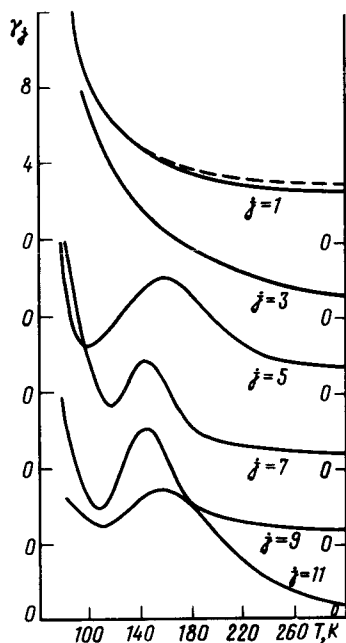


Рис.2. Температурные зависимости коэффициента Грюнайзена для оптических колебательных мод, локализованных в слоях GaAs (сплошная линия). Штриховая линия соответствует температурной зависимости коэффициента Грюнайзена для объемного TO -фонона GaAs. Индекс j указывает номер локализованной моды

Используя температурные зависимости $\omega_j(T)$, нами были вычислены параметры Грюнайзена для каждой локализованной моды как функции температуры, (рис.2), которые определялись как

$$J_j(T) = -\frac{1}{3\alpha(T)} \frac{d\omega_j(V,T)}{dT} \frac{1}{\omega_{0j}}, \quad (1)$$

где ω_{0j} - частоты j -ой локализованной моды при $T = 4$ К, α - коэффициент линейного расширения, взятый нами из работы ⁵. Параметры Грюнайзена, вычисленные согласно (1) включают как вклад, обусловленный тепловым расширением, так и вклад, вызванный эффектами фонон-фононного взаимодействия.

Таким образом, в работе исследована температурная зависимость частот поперечных оптических колебаний, локализованных в слоях GaAs сверхрешеток GaAs/AlAs. Определены параметры Грюнайзена для каждой из локализованных мод. Обнаружено немонотонное изменение параметров Грюнайзена для старших мод, обусловленное ангармонизмом оптических колебаний в GaAs.

-
1. M.Cardona, *Light Scattering in Solids V*, Heidelberg: Springer-Verlag, 1989.
 2. R.Trommer, H.Muller, and M.Cardona, *Phys. Rev. B* **21**, 4869 (1980)
 3. P.Wickboldt, E.Anastassakis, R.Sauer, and M.Cardona, *Phys. Rev. B* **35**, 1362 (1987).
 4. Ю.А.Пусеп, А.Г.Милехин, М.П.Синюков и др., *Письма в ЖЭТФ* **52**, 1068 (1990).
 5. T.Soma, J.Satoh, and H.Matsuo *Sol. St. Comm.* **42**, 889 (1982).
 6. Д.Рейсленд, *Физика фононов*, М.: Мир 1975.