

Влияние эффекта фононной фокусировки на теплопроводность алмаза

Чернодубов Д.А.¹, Инюшкин А.В.¹

Chernodubov_DA@nrcki.ru

¹ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

Монокристаллический алмаз является объемным материалом с самой высокой теплопроводностью, около 24 Вт/(см·К) [1], что позволяет рассматривать его для широкого ряда применений в современной электронике. Одно из них – использование алмаза для создания датчиков темной материи, в которых взаимодействие частицы с кристаллической решеткой приводит к передаче части энергии и, как следствие, возникновению акустических фононов, подлежащих регистрации [2]. Для того чтобы обеспечить максимальную эффективность подобного детектирования, необходимо не только минимизировать возможность рассеяния возникающих фононов на дефектах решетки и границах детектора, что предполагает тщательный выбор параметров кристалла, таких как его размеры, кристаллографическая ориентация, качество обработки поверхности, но и точно моделировать и рассчитывать динамику фононов.

В кристаллах при низких температурах проявляется эффект фононной фокусировки, заключающийся в неоднородном распределении групповых скоростей фононов даже при изотропных фазовых векторах. Это обуславливает анизотропию распространения фононов различных мод и, как следствие, анизотропию теплопроводности. Фокусировка существует и в кубических кристаллах, в частности, в алмазе и кремнии при низких температурах [3]. В случае Si экспериментально показано, что величина теплопроводности образцов в форме параллелепипедов длиной 40 мм и поперечным сечением 4×4 мм² на 38% выше при их ориентации вдоль направления (100), чем вдоль (110) [4].

В настоящей работе проведен расчет теплопроводности образцов алмаза с учетом эффекта фононной фокусировки на основе теории МакКарди, Мариса и Элбаума [3]. Получены теоретические данные о фокусировке поперечных и продольной фононных мод как в приближении линейной дисперсии, так и с учетом нелинейной дисперсии для высокочастотных фононов. Результаты расчетной величины теплопроводности сравниваются с экспериментальными данными для образцов алмаза в форме пластин с разной ориентацией (100) и (110), на основании чего сделан вывод о величине эффекта фононной фокусировки в теплопроводности алмаза при низких температурах.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-29-00214).

Ссылки

1. A. V. Inyushkin, A. N. Taldenkov, V. G. Ralchenko, G. Shu, B. Dai, A. P. Bolshakov, A. A. Khomich, E. E. Ashkinazi, K. N. Boldyrev, A. V. Khomich, J. Han, V. I. Konov, and J. Zhu, *J. Appl. Phys.* (2023) **133**, 025102.
2. N. Kurinsky, T.C. Yu, Y. Hochberg, and B. Cabrera, *Phys. Rev. D* (2019) **99**, 123005.
3. A. K. McCurdy, H. J. Maris, and C. Elbaum, *Phys. Rev. B* (1970) **2**, 4077.
4. A. V. Inyushkin, A. N. Taldenkov, J. W. Ager III, E. E. Haller, H. Riemann, N. V. Abrosimov, H.-J. Pohl, and P. Becker, *J. Appl. Phys.* (2018) **123**, 095112.