

ПОГЛОЩЕНИЕ ГИПЕРЗВУКА В АЛМАЗЕ

В.Н.Балабанов, А.А.Булмаков, А.Н.Чернец

Исследование поглощения гиперзвуковых волн в диэлектрических монокристаллах позволяет получить сведения о механизме упругих потерь на сверхвысоких частотах. В литературе имеется много работ, в которых экспериментально изучалось поглощение гиперзвука в различных монокристаллах в широком диапазоне частот и температур. Однако, для алмаза такие исследования не проводились. Вместе с тем, среди диэлектрических монокристаллов алмаз занимает особое место. Температура Дебая θ и теплопроводность κ , величины которых непосредственно связаны с упругими свойствами, у этого кристалла значительно выше, чем у других диэлектриков ($\theta \approx 2240^\circ$ [1]; $\kappa \approx 30 + 100 \text{ вт/см} \cdot \text{град}$ [2]). Поэтому представляет интерес экспериментальное исследование поглощения гиперзвука в алмазе.

Мы располагали двумя алмазами Якутского месторождения, имевшими хорошую естественную огранку в форме октаэдров. Рентгенографические исследования подтвердили, что грани октаэдров являются плоскостями (111). Достаточная плоскостность и параллельность граней позволили обойтись без дополнительной их оптической сбработки. Характерные размеры вдоль направлений [111] составляли $4 + 6 \text{ мм}$.

Для возбуждения в исследуемых образцах продольных гиперзвуковых волн использовались преобразователи в виде тонких пленок ZnO [3], нанесенных на подслои из Al. Электрическое СВЧ поле в пленке создавалось с помощью перестраиваемого коаксиального элемента. Измерения проводились на частотах 3 и 8 ГГц обычным эхо-импульсным методом в интервале температур $4,2 + 300^\circ\text{К}$.

На рис. 1 представлена температурная зависимость поглощения в алмазе продольных гиперзвуковых волн. Там же для сравнения приведена аналогичная зависимость для монокристалла Al_2O_3 . Из рисунка следует, что у алмаза область сильной температурной зависимости поглощения сдвинута в сторону более высоких температур примерно на 100° и заметное поглощение появляется при $T > 120^\circ K$.

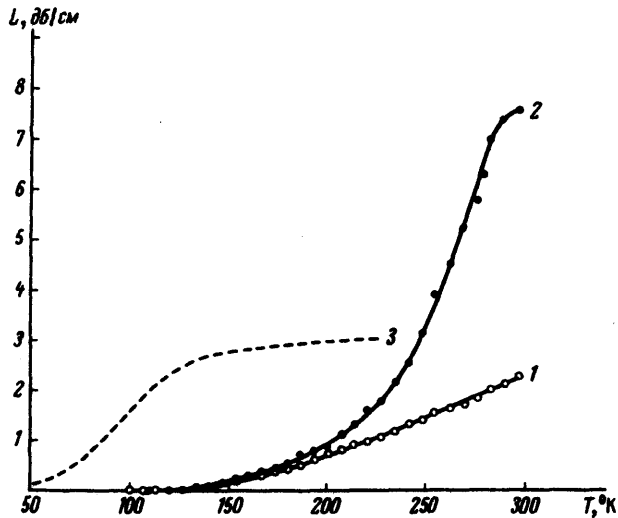


Рис. 1. Зависимость затухания продольных волн, распространяющихся в алмазе вдоль оси [111], от температуры: 1 — 3 Гц, 2 — 8 Гц, 3 — 3 Гц (Al_2O_3)

При комнатной температуре поглощение на частоте 3 Гц еще не достигает наибольшего значения и составляет 2,2 дб/см; на частоте 8 Гц оно равно 7,5 дб/см. Сопоставление этих данных свидетельствует о том, что в отличие от некоторых других кристаллов, у которых при комнатной температуре появляется квадратичная зависимость поглощения от частоты, в алмазе поглощение возрастает медленнее, чем ω^2 .

В тех же образцах с помощью тонкопленочных никелевых преобразователей были возбуждены поперечные гиперзвуковые волны с частотой 8 Гц. Измерения показали, что на этой частоте поперечные волны затухают заметно слабее продольных.

Для частот и температур, при которых выполняется соотношение $\omega\tau < 1$ ($\tau = 3\kappa/Cv^2$ — время тепловой релаксации, κ — теплопроводность решетки, C — теплоемкость, отнесенная к единице объема, v — средняя скорость звука в дебаевском приближении), поглощение продольных гиперзвуковых волн может быть определено выражением, основанным на модели Ахиезера [4, 5].

$$L(\text{дб/см}) = \frac{8,68}{\rho v^5} \gamma^2 3\omega^2 \kappa T, \quad (1)$$

где $\gamma^2 = \left(\frac{T}{\theta}\right)^3 \tilde{\gamma}^2$, $\tilde{\gamma}$ — среднее значение константы Грюнайзена, ρ — плотность, T — абсолютная температура.

• Для наших измерений соотношение $\omega r < 1$ выполняется только при частоте 3 Гц и температурах $T > 170^\circ\text{К}$. Воспользовавшись данными работ [1, 2] можно рассчитать зависимость поглощения от температуры. Из рис. 2 видно, что значения поглощения, вычисленные для $\tilde{\gamma} \approx 6$ вполне удовлетворительно совпадают с измеренными.

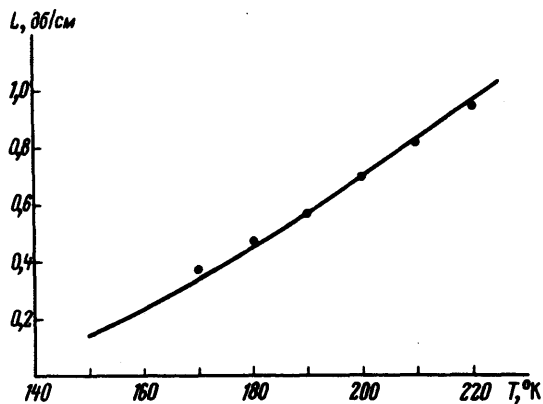


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и рассчитанных значений затухания продольных волн в алмазе при частоте 3 Гц : — эксперимент, ... — теория

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что по сравнению с другими кристаллами алмаз обладает наименьшим поглощением.

В заключение авторы выражают благодарность Н.Л.Кенигсберг за помощь в работе.

Институт радиофизики
и электроники
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
6 апреля 1970 г.

Литература

- [1] H.J.McSkimin., W.L.Bond. Phys. Rev., 105, 116, 1957.
- [2] Glen A. Slack. J. Appl. Phys., 35, 3460, 1964.
- [3] Н.Л. Кенигсберг, А.И.Чернец. ФТТ, 9, 2834, 1968.
- [4] А.И.Ахиезер. ЖЭТФ, 8, 1318, 1938.
- [5] T.O.Woodruff. H.Ehrenreich. Phys. Rev., 123, 1553, 1961.