

©1994 г.

ВЛИЯНИЕ ИЗОТОПНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ БОРА НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В КАРБИДЕ БОРА

Г.С.Карумидзе, Ш.Ш.Шавелашвили, В.Б.Чхиквишвили

Научно-исследовательский институт стабильных изотопов,
Тбилиси, Грузия

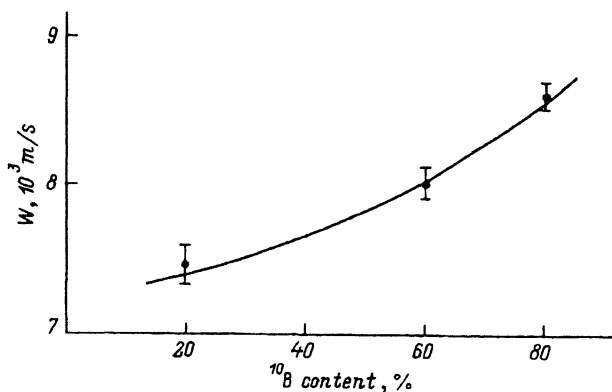
(Получена 10 мая 1994 г. Принята к печати 6 июня 1994 г.)

Показана зависимость скорости распространения звука в карбиде бора от содержания изотопов бора. Увеличение концентрации легкого изотопа ^{10}B приводит к увеличению скорости распространения звука. Предполагается, что обнаруженное явление связано с увеличением модуля упругости материала и, следовательно, с упрочением химической связи.

В последнее время карбид бора B_4C привлекает к себе внимание как наиболее перспективный высокотемпературный полупроводниковый материал для решения задач прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Данное обстоятельство связано с хорошим сочетанием его теплофизических и электрофизических параметров с транспортными свойствами и температуростойкостью [1].

В работе [2] было показано, что при комнатной температуре ($\sim 300\text{K}$) повышение концентрации легкого изотопа бора ^{10}B в карбиде бора приводит к увеличению коэффициента теплопроводности κ . Объяснить этот экспериментальный факт в рамках классических представлений об изотопическом эффекте теплопроводности [3], когда изотоп рассматривается как дефект, нарушающий регулярность кристаллической решетки, не представляется возможным, так как увеличение концентрации другого, более тяжелого изотопа (^{11}B) приводит не к увеличению, а к уменьшению коэффициента теплопроводности.

Для объяснения наблюдаемого эффекта была предложена модель, которая предполагает, что причиной изменения κ является изменение упругих свойств элементарной ячейки: при замене тяжелого изотопа на более легкий κ увеличивается, а при повышении концентрации тяжелого изотопа упругие свойства понижаются и, следовательно, уменьшается и κ , что и наблюдалось экспериментально [2]. Известно [4], что упругие свойства материала могут быть охарактеризованы



Зависимость скорости распространения продольной ультразвуковой волны в карбиде бора от концентрации изотопа ^{10}B .

определенными константами, в частности модулем Юнга (E) и коэффициентом Пуассона (σ), непосредственно связанными с прочностью химической связи. В случае карбида бора в связи с его квазимолекулярной икосаэдрической структурой [2] повышение концентрации легкого изотопа приводит к облегчению икосаэдра и упрочению химической связи, так как на ту же связь приходится меньшая масса и упругость материала повышается. Повышение упругости материала приводит к изменению фононного спектра и к уменьшению фонон-фононного рассеяния и, следовательно, к увеличению теплопроводности.

Известным методом определения упругих констант является измерение скорости распространения звука [4]. Нами для подтверждения правильности модели, представленной в работе [2], была измерена скорость распространения звука в карбиде бора в зависимости от содержания изотопа ^{10}B . Исследуемые образцы, как и в работе [2], были изготовлены методом горячего прессования порошка B_4C , полученного путем прямого синтеза аморфного бора и углерода. Для достижения стехиометрического состава весовое соотношение порошка бора и углерода составляло 78 и 22% соответственно. Образцы представляли собой цилиндры диаметром 20 мм и высотой 30 мм. Идентичность образцов и фазовый состав контролировались методом рентгеноструктурного анализа. Было изготовлено три партии образцов с содержанием изотопа ^{10}B : 20, 60 и 80%. Плотность образцов определялась пикнометрическим методом. Результаты представлены в таблице.

Измерение скорости звука осуществлялось с помощью стандартного ультразвукового дефектоскопа ДУК-66 в режиме эхо-импульсного

Характеристика образцов B_4C

№ образца	Содержание изотопа ^{10}B (%)	Среднее значение плотности (г/см^3)
1	20	2.4
2	60	2.35
3	80	2.4

метода, на основе которого осуществляется ультразвуковая локация исследуемой среды [4]. Генератор возбуждает в излучателе-пьезоэлементе из титана бария (TiBa) короткие импульсы высокочастотного колебания (~ 1 МГц). Образующиеся звуковые волны вводятся через поверхность в исследуемые образцы и, отражаясь от противоположной (базовой) поверхности, возвращаются в излучатель, который вновь преобразует их в электрические сигналы. С помощью электронно-лучевого осциллографа измерялось время пробега τ . Скорость звука определялась по формуле $W = L/\tau$. Во время измерения на трубке осциллографа видны импульсы, возникающие как в момент генерации, так и в момент регистрации сигнала, отраженного от базовой поверхности: излучаемый — слева, в начале развертки, отраженный от базовой поверхности — справа. Звук проходит высоту h исследуемого образца дважды, т.е. $L = 2h$. Для повышения точности измерения времени прохождения ультразвукового импульса сигнал с дефектоскопа выводился на осциллограф более высокого класса типа С1-97.

Результаты исследования представлены на рисунке, из которого следует, что увеличение концентрации легкого изотопа ^{10}B в карбиде бора приводит к увеличению скорости распространения звука, т.е. происходит увеличение значения упругих констант материала и, соответственно, упрочняется химическая связь.

С помощью скорости звука W и плотности ρ могут быть выражены упругие константы твердых тел [4]. Естественно, что достоверные значения модулей упругости могут быть получены только на монокристаллах, однако сведения о модулях упругости карбида бора, как правило, получены только на материалах, изготовленных методом горячего прессования [5]. Представленные в настоящей работе значения скоростей распространения звука вполне могут дать качественную картину влияния изотопной концентрации на скорость распространения звука и, следовательно, на упругие свойства материала.

В заключение необходимо отметить, что физическая модель, представленная в работе [2], объясняющая влияние изотопной концентрации на коэффициент теплопроводности, является перспективной, и появляется реальная возможность создания методом изотопного модифицирования материалов с заданными тепловыми и механическими свойствами, имеющих структуру, аналогичную структуре карбида бора.

Список литературы

- [1] Ch. Wood. *Proc. 4th Int. Symp. on Boron, Borides and Related Compounds* (Duisberg, 1987).
- [2] G.S. Karumidze, L.A. Shengelia. *Diamond and Related Materials*, **3**, 14 (1993).
- [3] Дж. Блейкмор. *Физика твердого тела* (М., Мир, 1988).
- [4] Л. Бергман. *Ультразвук и его применение в науке и технике*. (М., Иностран. лит., 1966).
- [5] П.С. Кислый, М.А. Кузнецов, М.А. Бондарчук, Б.Л. Грабчук. *Карбид бора* (Киев, Наук. думка, 1988).

Редактор Т.А. Полянская