

05:07

Показатель преломления борокарбида алюминия $\text{Al}_3\text{C}_2\text{B}_{48}$

© А.И. Шелых, В.Н. Гурин, С.П. Никаноров

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: s.nikanorov@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 9 декабря 2007 г.

Из раствора в расплаве Al получены монокристаллы борокарбида алюминия с тетрагональной структурой. Установлены характеристики кристаллической решетки. Изучена дисперсия показателя преломления в области длин волн от 0.55 до 1.3 μm и измерен относительный температурный коэффициент показателя преломления. Отмечается, что высокое значение показателя в видимой части спектра при высокой твердости материала может представлять интерес для ювелирных целей, традиционной и рентгеновской оптики.

PACS: 81.05.-t

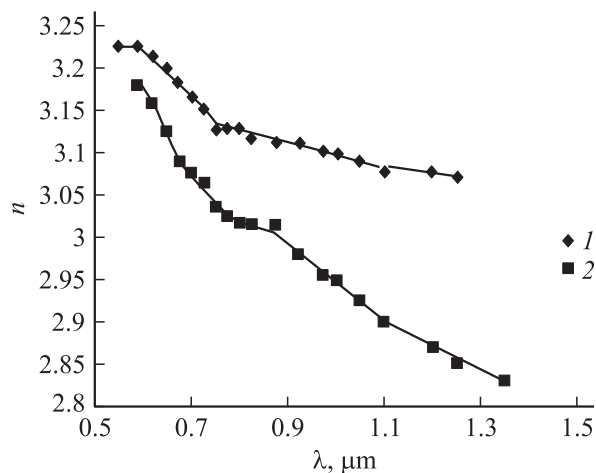
Интерес к исследованию спектра показателя преломления борокарбида алюминия связан с тем, что в это соединение входят элементы начала периодической системы, образующие специфическую группу твердых тел. Be, B, C и ряд соединений на их основе имеют невысокую плотность, но высокую твердость, высокие значения модулей упругости (алмаз, карбид бора), хорошую теплопроводность (BeO), высокие значения температуры Дебая. Для этих материалов характерно максимальное число атомов в единице объема N . Рекордное значение концентрации атомов достигается в алмазе: $(1.5-1.8) \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$. У бора концентрация $(1.3 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3})$ примерно в три раза больше, чем у германия $(0.44 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3})$.

Концентрация атомов N связана с показателем преломления n и поляризуемостью p формулой Лоренц–Лорентца $(n^2 - 1)/(n^2 + 1) = Np$. Корреляция между N и p отмечена, например, для ряда модификаций TiO_2 с разной плотностью. Так, для модификаций анатаз–брунит–рутил N имеет значения $(0.88-0.9-0.97) \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$, а показатель преломления n равен соответственно $(2.524-2.637-2.76)$ [1]. Качественная предпосылка о влиянии концентрации атомов на показатель

преломления была причиной исследования спектральной и температурной зависимостей показателя преломления борокарбида алюминия в настоящей работе. Монокристаллы $\text{Al}_3\text{C}_2\text{B}_{48}$ были получены аналогичным способом, как и ранее исследованные нами AlBeB_{22} [2], из растворов в расплаве Al: при медленном подъеме температуры в системе до 1400°C , выдержке при этой температуре в течение 4 h и последующем охлаждении до комнатной температуры в течение 24 h. Охлажденные слитки Al обрабатывали разбавленной HCl (1 : 2–1 : 4) и из осадка выделяли кристаллы борокарбида $\text{Al}_3\text{C}_2\text{B}_{48}$. $\text{Al}_3\text{C}_2\text{B}_{48}$ имеет тетрагональную структуру. Рентгеновские исследования показали, что полученные кристаллы относятся к ромбической сингонии, при этом в большинстве кристаллов наблюдаются двойники, сросшиеся под углом $< 90^\circ$. Периоды решетки имели следующие значения: $a = 12.34$, $b = 12.63$, $c = 5.08$ Å. Экспериментальное определение показателя преломления борокарбида алюминия существенно ограничивалось небольшими размерами монокристаллов (порядка нескольких mm^3). Применение иммерсионного метода, особенно удобного для работы под микроскопом с кристаллами таких размеров, исключалось из-за отсутствия в природе иммерсионных жидкостей с необычным для данного случая значением величины n больше 2. Поэтому величина показателя преломления определялась двумя методами. В одном методе определялась величина отражательной способности поляризованного света ($\lambda = 550$ nm) в зависимости от угла падения Ψ . При минимальном отражении определялся угол (угол Брюстера) и затем $n = \text{tg } \Psi_{\text{min}}$. В другой методике величина n и ее спектральная зависимость определялись по углу отклонения луча света образцами боридов, которым придавалась форма призм.

Результаты измерения одного образца борокарбида алюминия $\text{Al}_3\text{C}_2\text{B}_{48}$ представлены на рисунке. Данные для второго образца из одной партии при похожем спектре отличались по величине. Так, для $\lambda = 550$ nm, если величины показателя преломления для одного из них, определенные методом призмы и методом Брюстера, равны соответственно $n = 3.1$ и 2.9 , то для другого — $n = 2.9$ и 2.7 . Спектральные зависимости n для этих образцов были подобны. На рис. 1 показана также зависимость n от длины волны для монокристалла AlBeB_{22} [2,3]. Видно, что спектры для $\text{Al}_3\text{C}_2\text{B}_{48}$ и AlBeB_{22} имеют похожий характер.

Величина показателя преломления исследованных боридов $n \approx 3$ является высокой для твердых тел, частично прозрачных в видимой области спектра. Ранее [4] было найдено, что n для $\text{Al}_3\text{C}_2\text{B}_{48}$ в инфра-



Дисперсия показателя преломления кристаллов $Al_3C_2B_{48}$ (1) и $AlBeB_{22}$ (2).

красной области спектра около 3. Высокое n наблюдается также у бора и других соединений на его основе. Высокие значения n в них не могут полностью определяться электронной поляризуемостью бора. Известно, что она на 1–2 порядка меньше по сравнению с поляризуемостью других ионов, образующих соединения с высоким n . Следует отметить, что бор, как и другие материалы с большой концентрацией атомов, проявляет способность образовывать большое количество соединений с металлами и водородом, причем в разных кристаллических структурах, включая цепочечные. Считается, что такие особенности химической связи обусловлены соотношением количества валентных орбиталей и числа электронов, имеющих для их заполнения. Так, в атоме В имеются 4 валентные орбитали и меньшее число электронов для их заполнения. Отмечается, что недостаток электронов (избыток валентных орбиталей у бора) приводит к образованию кластеров атомов. В этом случае можно ожидать изменения показателя преломления. Это показано для простых моделей в [5,6]. По-видимому, поляризация кластеров и связанных с ними дефектов кристаллической решетки усиливается концентрационным влиянием, пропорциональным $N^{1/2}$.

Помимо определения спектра n проводились измерения его температурной зависимости. Было показано, что $\Delta n / (n \Delta T) = 3 \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$ в интервале температур от 300 до 600 К. Результаты измерений были проверены на других материалах. Порядок величины был таким же и у других материалов. Так, наши измерения показали, что температурный коэффициент показателя преломления Dy_2O_3 в интервале от 300 до 1500 К равен $1,55 \cdot 10^{-9} \text{ K}^{-1}$.

Таким образом, в работе показано, что в $\text{Al}_3\text{C}_2\text{V}_{48}$, как и в других соединениях на основе бора, наблюдается высокое значение показателя преломления. Высокий показатель преломления в видимой части спектра при высокой твердости показывает, что монокристаллы борокарбида алюминия могут представлять интерес при оценке ювелирных свойств. Следует также отметить возможность применения исследованного соединения элементов с малыми атомными номерами как в традиционной оптике, так и в рентгеновской оптике преломления [7].

Работа поддержана проектом № 3.2 (2007) подпрограммы № 2 фундаментальных исследований президиума РАН „Влияние атомно-кристаллической и электронной структуры на свойства конденсированных сред“.

Список литературы

- [1] *Лейтвеин Ф., Зоммер-Кулачевски Ш.* Кристаллография. М.: Высш. школа, 1968.
- [2] *Гурин В.Н., Деркаченко Л.И., Трунов В.Ф., Шельх А.И., Никаноров С.П.* // ЖТФ. 2006. Т. 76. В. 8. С. 33–36.
- [3] *Шельх А.И., Гурин В.Н., Никаноров С.П., Деркаченко Л.И.* // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. В. 22. С. 83–88.
- [4] *Кислый П.С., Неронов В.А., Прихна Т.А., Бевза Ю.В.* Бориды алюминия. Киев: Наук. думка, 1990. 191 с.
- [5] *Ораевский Ф.Н., Проценко И.Е.* // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. № 3. С. 252.
- [6] *Климов В.В., Гузатов Д.В.* // Квантовая электроника. 2007. Т. 37. № 3. С. 209.
- [7] *Аристов В.В., Шабельников Л.Г., Старков В.В.* // Нанотехника. 2005. № 4. С. 5.