

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

М. Я. Фукс, П. Г. Черемской, А. С. Паникарский,
А. С. Капчерин, И. И. Папилов, Г. Ф. Тихинский,
В. С. Шокуров, Анизотропия малоуглового рас-
сеяния рентгеновских лучей в деформированных
монокристаллах бериллия, *Докл. АН СССР*, 1981,
том 256, номер 5, 1115–1118

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.81

8 февраля 2025 г., 03:11:04



ва рассматриваемого реального газа и соответствующей ему идеально-газовой смеси реагирующих математических групп совершенно идентичны. Ранее подобный вывод был сделан лишь для термического уравнения состояния (¹¹).

Сформулированный выше результат позволил нам при проведении расчетов (⁷⁻⁹) воспользоваться стандартным алгоритмом вычисления состава и термодинамических свойств химически реагирующих идеальных газов, заменив в нем константы равновесия соответствующими групповыми интегралами. При этом учитывалось, что в отличие от констант равновесия групповые интегралы могут быть и отрицательными, если отвечающие им сочетания исходных атомов (16) не приводят к образованию устойчивых связанных состояний — физических групп (молекул).

Московский энергетический институт

Поступило
2 VII 1980

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Дж. Гирифельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд, Молекулярная теория газов и жидкостей, М., ИЛ, 1961. ² Э. Мейсон, Т. Сперлинг, Вириальное уравнение состояния, М., "Мир", 1972. ³ А.М. Семенов, В сб.: Тр. МЭИ. Инженерная теплофизика, в. 115, М., 1972, стр. 6. ⁴ А.М. Семенов, Теплофиз. высоких температур, т. 12, 1167 (1974). ⁵ В. Эбелинг, В. Крефт, Д. Кремт, Теория связанных состояний и ионизационного равновесия в плазме и твердом теле, М., "Мир", 1979. ⁶ Дж.Е. Майер, В кн.: Термодинамика газов, М., "Машиностроение", 1970, стр. 415. ⁷ А.М. Семенов, В.И. Мика, В сб.: Тр. МЭИ. Свойства веществ, циклы и процессы, М., 1975, стр. 9. ⁸ В.И. Мика, А.М. Семенов, Теплофиз. высоких температур, т. 15, 268 (1977). ⁹ В.М. Гефтер, В.И. Мика, А.М. Семенов, Расчет состава и термодинамических свойств неидеальных химически реагирующих газов (Теплофизические свойства веществ. Обзорная информация), М., 1976. ¹⁰ А.М. Семенов, ДАН, т. 256, № 4 (1981). ¹¹ Т. Хилл, Статистическая механика, М., ИЛ, 1960.

УДК 669.725:539.548.73

ФИЗИКА

М.Я. ФУКС, П.Г. ЧЕРЕМСКОЙ, А.С. ПАНИКАРСКИЙ, А.С. КАПЧЕРИН,
И.И. ПАПИРОВ, Г.Ф. ТИХИНСКИЙ, В.С. ШОКУРОВ

АНИЗОТРОПИЯ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В ДЕФОРМИРОВАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ БЕРИЛЛИЯ

(Представлено академиком А.Ф. Беловым 11 VII 1980)

Вследствие малого линейного коэффициента ослабления рентгеновских лучей бериллий является очень удобным объектом исследования малоуглового рассеяния (м.у.р.) на сравнительно толстых образцах. Пластическая деформация бериллия хорошо изучена, установлены все системы скольжения и разрушения; сильно анизотропный характер пластической деформации и разрушения облегчает исследование начальных стадий образования микротрещин по плоскостям спайности (0001) и (11 $\bar{2}$ 0) (¹). Бериллий очень слабо растворяет большинство примесей, которые даже при низких концентрациях могут образовать дисперсные выделения, к которым чувствительно м.у.р. По этой причине интенсивность малоуглового рассеяния должна быть чувствительной к состоянию материала. Кроме того, вследствие сильной анизотропии термического расширения и скольжения по границам зерен поликристаллов можно ожидать, что при высокотемпературной

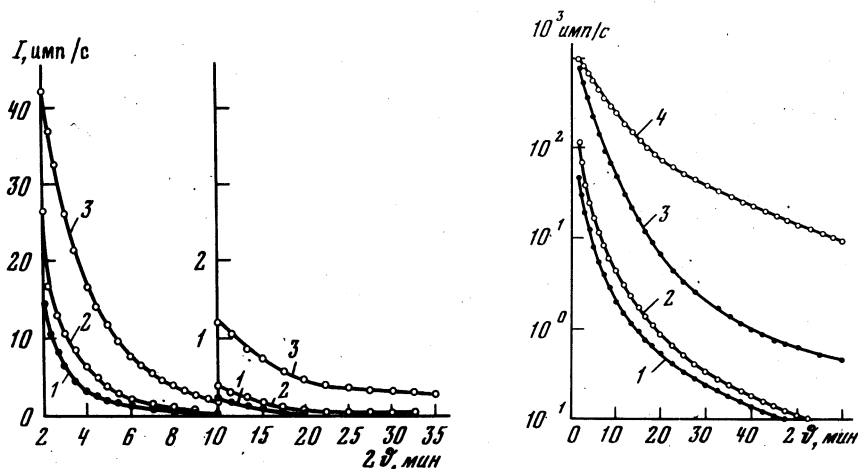


Рис. 1. Индикатрисы м.у.р. для монокристаллов бериллия: 1 — исходный кристалл высокой чистоты (А), 2, 3 — тот же образец после изгиба; первичный пучок направлен вдоль плоскости (0001) (3) и под углом 45° к плоскости (0001) (2)

Рис. 2. Индикатрисы м.у.р. для деформированных монокристаллов бериллия сорта Б: 1, 3 — после базисного скольжения, 2, 4 — после призматического скольжения; первичный пучок направлен: 1 — перпендикулярно плоскости (0001), 3, 4 — вдоль плоскости (0001), 2 — под углом 45° к плоскости (0001)

пластической деформации возникают микропоры, усиливающие рассеяние рентгеновских лучей под малыми углами.

Целью работы явилось изучение методом м.у.р. (²) монокристаллов бериллия различной чистоты, полученных разными способами, в исходном состоянии и после пластической деформации. В качестве объектов исследования выбраны свежевывращенные монокристаллы следующих трех типов: кристаллы высокой (99,99%) чистоты, выращенные методом зонной плавки из многократно дистиллированного бериллия (А); кристаллы технической чистоты (99,5%), выращенные методом медленной кристаллизации в тигле (Б); кристаллы сплава Ве—1,34 ат.% Си, выращенные методом Чохральского (В). Монокристалльные образцы были различных ориентаций: с плоскостью (0001), параллельной плоскости образца (ориентированные для призматического скольжения); с плоскостью (0001), расположенной под углом 45° к оси образца (ориентированные для базисного скольжения), имели толщину около 1 мм; цилиндрические образцы с осью, параллельной направлению [0001] кристалла, имели диаметр ~ 2 мм. Субструктура таких монокристаллов ранее подробно изучена методами рентгеновской топографии (³).

Съемки (дифрактометрию и фоторегистрацию) проводили на высоковакуумном малоугловом рентгеновском дифрактометре с повышенным разрешением в излучении $\text{CuK}\alpha$. Стабильность излучения первичного пучка контролировали при помощи эталона, который применяли также для измерения абсолютной интенсивности м.у.р. по методу Кратки (⁴). Воспроизводимость уровня регистрируемой интенсивности составляла 1—1,5%. Путем контролируемого изменения азимутальной и полярной ориентаций образцов относительно первичного пучка выбирали такие направления для съемок, которые заведомо исключали появление двойных преимущественно неоднородностями электронной плотности. Кривые на рис. 1, 2 пронормированы на один рассеивающий объем с учетом фактора поглощения при наклонных съемках.

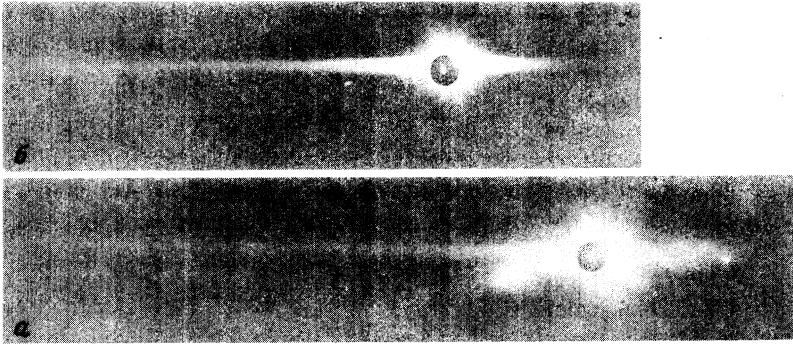


Рис. 3. Малоугловые рентгенограммы деформированных монокристаллов бериллия после базисного (а) и призматического (б) скольжения. Первичный пучок направлен вдоль плоскости (0001)

В недеформированном состоянии монокристаллы бериллия высокой (99,99%) чистоты (А) обладают слабой рассеивающей способностью в области малых углов. Уровень интенсивности м.у.р. не превышает 10^{-6} величины интегральной интенсивности первичного рентгеновского пучка, причем регистрируемое рассеяние практически кристаллографически изотропно (рис. 1, кривые 1). Оно является результатом наложения рассеяния линейными, планарными и объемными несовершенствами кристаллического строения, поверхностью, многократного рассеяния в сравнительно толстых образцах и двойных вольф-брегговских отражений.

Увеличение содержания меди до 1,34 ат% (кристалл В) или других, входящих в твердый раствор примесей (0,5% в сумме) (кристалл Б), приводит к незначительному (менее 10–20%) повышению уровня интенсивности м.у.р., не вызывая заметной анизотропии ее углового распределения. Это указывает на то, что в исследуемых образцах примеси в основном входят в твердый раствор, не образуя локальных сегрегаций.

После высокотемпературной деформации путем базисного ($T=800^{\circ}\text{C}$, $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, $\epsilon = 12\%$) и призматического ($T = 700^{\circ}\text{C}$, $\dot{\epsilon} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$, $\epsilon = 5\%$) скольжения интенсивность м.у.р. возрастает более чем на порядок и одновременно возникает сильная анизотропия рассеяния. Интенсивность м.у.р. максимальна при направлении первичного пучка, параллельном плоскости (0001) (рис. 2, 3), и минимальна при направлении, перпендикулярном этим плоскостям (рис. 2, 1). Азимутальное распределение интенсивности м.у.р. для этого случая приведено на рис. 3а. Картина рассеяния представляет собой вытянутое в направлении [0001] пятно, простирающееся до угла $2\theta \simeq 5^{\circ}$ и вызванное наличием в кристаллах анизотропных рассеивающих неоднородностей, ориентированных параллельно плоскости (0001). Вблизи первичного пучка видны также рефлексы, соответствующие двойным вольф-брегговским отражениям.

После призматического скольжения максимальная интенсивность м.у.р. наблюдается также при направлении первичного пучка параллельно плоскости (0001) (рис. 2, 4) и резко уменьшается при поворотах образца вокруг направления [10 $\bar{1}$ 0] (рис. 2, 2).

Поскольку к наблюдаемым эффектам может приводить как пластическая деформация, так и образование ориентированных выделений в результате деформационного старения, было исследовано влияние на м.у.р. деформации при комнатной температуре металла высокой чистоты. Оказалось, что многократный циклический изгиб образцов А относительно оси [0001] также приводит к увеличению уровня

интенсивности м.у.р. изменению углового распределения и появлению анизотропии рассеивания, максимально выраженной при изменении угла падения первичного пучка рентгеновских лучей относительно плоскости (0001) (рис. 1, 3).

Таким образом, можно утверждать, что в результате пластической деформации монокристаллов бериллия как при высоких, так и при комнатной температурах, возникает сильная анизотропия м.у.р. Наиболее интенсивное рассеяние происходит при падении первичного пучка вдоль плоскости спайности (0001). Указанные эффекты являются, в первую очередь, результатом пластической деформации за счет дислокационного скольжения.

Представляется интересным продолжить в дальнейшем изучение обнаруженного эффекта в зависимости от действующих механизмов и условий деформации монокристаллов бериллия различной ориентации в широком интервале температур и скоростей деформации, что позволит выявить тонкие изменения субструктуры, вносимые пластической деформацией кристаллов, особенно с гексагональной плотноупакованной решеткой. Кроме того, дальнейшее исследование будет направлено на изучение особенностей м.у.р. от поликристаллического деформированного бериллия с целью разделения вкладов в рассеяние за счет пластической деформации внутри зерен и образования микропористости на границах зерен.

Харьковский политехнический институт
им. В.И. Ленина

Поступило
29 VIII 1980

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И.И. Папиров, Г.Ф. Тихинский, Пластическая деформация бериллия, М., Атомиздат, 1973. ² А. Гинье, Рентгенография кристаллов, М., ИЛ, 1961. ³ И.И. Папиров, Г.Ф. Тихинский и др., Природа пластической деформации бериллия, Киев, "Наукова думка", 1977. ⁴ O. Kratky, Z. Pils, P. Schmitz, J. Colloid and Interface Sci., v. 21,24 (1966); v. 24, 211 (1967). ⁵ И.И. Папиров, Г.Ф. Тихинский, Физическое металловедение бериллия, М., Атомиздат, 1971.