

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 548.4

© 1994

О ГЕОМЕТРИИ ГРАНИЦ ЗЕРЕН В КВАЗИКРИСТАЛЛАХ

И.А. Овидько

Дефекты в квазикристаллах, составляющих новый класс твердых тел, являются предметом интенсивных теоретических и экспериментальных исследований (например, [1-11]). При этом основное внимание уделяется изучению дислокаций и дисклинаций в квазикристаллах. Вместе с тем физические и механические характеристики реальных квазикристаллов существенно зависят не только от поведения дислокаций и дисклинаций, но и от свойств границ зерен — планарных дефектов в квазикристаллах. В статье [8] построена модель малоугловых границ зерен в квазикристаллах. Однако малоугловые границы зерен представляют собой лишь малую часть полного множества границ зерен в квазикристаллах. Настоящая работа посвящена теоретическому описанию структурной геометрии границ зерен общего типа в икосаэдрических квазикристаллах, являющихся наиболее распространенным классом квазикристаллических твердых тел.

Икосаэдрический квазикристалл имеет шесть степеней свободы: три — трансляционных и три — фазовых (связанных со специальными перестановками структурных единиц квазикристалла) (например, [2,9,12]). Поэтому основные геометрические характеристики (разориентировка и относительное смещение прилегающих к границам зерен квазикристаллических зерен, полная решетка наложения) границ зерен в икосаэдрическом квазикристалле имеют более сложную структуру, нежели соответствующие характеристики границ зерен в обычном кристалле с тремя трансляционными степенями свободы.

Определим вначале параметры разориентировки. Известно [5], что полное множество допустимых вращений икосаэдрического квазикристалла есть группа $SO_{\parallel}(3) \times SO_{\perp}(3)$, где $SO_{\parallel}(3)$ и $SO_{\perp}(3)$ есть группы 3-мерных собственных вращений соответственно в обычном физическом пространстве, связанном с трансляционными степенями свободы, и «фазонном пространстве», связанном с фазонными степенями свободы. Как следствие, мы получаем, что граница зерен в икосаэдрическом квазикристалле — планарный дефект, разделяющий разориентированные квазикристаллические зерна, — характеризуется как обычной разориентировкой соседних квазикристаллических зерен (такой же как и в кристаллах), так и фазонной разориентировкой (специфичной для квазикристаллической фазы). Полная разориентировка гра-

ниц зерен естественно параметризуется шестью угловыми параметрами $\theta_1, \dots, \theta_6$. При этом $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ — углы Эйлера, параметризующие фазонную разориентировку границ зерен ($(\theta_4, \theta_5, \theta_6) \in SO_1(3)$).

Перейдем теперь к анализу относительных смещений квазикристаллических зерен, примыкающих к границам зерен. В соответствии с теорией структуры икосаэдрических квазикристаллов (например, $[2,9,12]$), каждое квазикристаллическое зерно, имея три трансляционные и три фазонные степени свободы, описывается характеристическим 6-мерным вектором, являющимся аналогом 3-мерного вектора смещений для кристаллического зерна. Как следствие, мы получаем то, что относительное (обобщенное) смещение квазикристаллических зерен, примыкающих к границам зерен, описывается вектором $\mathbf{D} = \mathbf{D}_1 - \mathbf{D}_2$, где \mathbf{D}_1 и \mathbf{D}_2 есть 6-мерные векторы, характеризующие соответственно первое и второе квазикристаллические зерна.

Вектор \mathbf{D} относительных обобщенных смещений представляет собой важную характеристику границ зерен в икосаэдрическом квазикристалле; он является аналогом вектора смещений для кристалла. Так, размерность $\dim \mathbf{D}$ вектора \mathbf{D} равна числу m степеней свободы (голдстоуновских мод) границ зерен. Аналогично случаю периодических и квазипериодических границ зерен в кристаллах $[13,14]$ можно показать, что размерность $\dim \mathbf{D} (= m)$ вектора \mathbf{D} зависит от параметров разориентировки $\theta_1, \dots, \theta_6$ следующим образом. Если все параметры $\theta_1, \dots, \theta_6$ рациональны, то вектор \mathbf{D} является 6-мерным: $\dim \mathbf{D} (= m) = 6$. Если все $\theta_1, \dots, \theta_6$ — иррациональны, то вектор \mathbf{D} имеет размерность $\dim \mathbf{D} (= m) = 12$. В общем случае получаем $6 \leq \dim \mathbf{D} = m \leq 12$. Когда число степеней свободы границ зерен в икосаэдрическом квазикристалле $m > 6$, такая граница зерен не имеет аналогов среди известных в природе квазипериодических (несоразмерных) систем.

В соответствии с теорией икосаэдрических квазикристаллов (например, $[2,9,12]$), первое (второе) квазикристаллическое зерно, примыкающее к границам зерен, симметрично относительно 6-мерных обобщенных смещений $\mathbf{D}_1 \rightarrow \mathbf{D}_1 + \tilde{\mathbf{D}}_1$ (соответственно $\mathbf{D}_2 \rightarrow \mathbf{D}_2 + \tilde{\mathbf{D}}_2$), где векторы $\tilde{\mathbf{D}}_1$ (соответственно $\tilde{\mathbf{D}}_2$) образуют 6-мерную кубическую решетку L_1^6 (соответственно L_2^6). Поэтому, как и граница зерен в кристаллах $[14,15]$, граница зерен в икосаэдрическом квазикристалле характеризуется полной решеткой наложения L^m , порожденной m -мерными векторами $\tilde{\mathbf{D}}_1 - \tilde{\mathbf{D}}_2$ ($6 \leq m \leq 12$). Обобщенные смещения границы зерен на векторы $\tilde{\mathbf{D}}_1 - \tilde{\mathbf{D}}_2$ этой решетки не меняют общий узор наложения квазикристаллических зерен. Векторы Бюргерса полных зернограницных дислокаций в границах зерен принадлежат решетке L^m .

Таким образом, зернограницная фаза в икосаэдрических квазикристаллах представляет собой новый тип квазипериодических (несоразмерных) систем с числом степеней свободы m , варьирующимся от 6 до 12. Основными геометрическими характеристиками границ зерен в икосаэдрическом квазикристалле являются 6 параметров разориентировки, m -мерный вектор относительных обобщенных смещений и m -мерная полная решетка наложения.

Автор выражает благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований (грант 93-02-17411) и Гуманитарному фонду Сороса (грант, присужденный Американским физическим обществом) за поддержку при написании этой работы.

- [1] Levine D., Lubensky T.C., Ostlund S., Ramaswamy S., Steinhardt P.J. // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 54. N 14. P. 1520–1523.
- [2] Socolar J.E.S., Lubensky T.C., Steinhardt P.J. // Phys. Rev. B. 1986. V. 34. N 5. P. 3345–3360.
- [3] Lubensky T.C., Ramaswamy S., Toner J. // Phys. Rev. B. 1986. V. 33. N 11. P. 7715–7719.
- [4] Kleman M., Gefen Y., Pavlovich A. // Europhys. Lett. 1986. V. 1. N 2. P. 61–69.
- [5] Boshung J., Tebin H.R. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. N 1. P. 2277–2280.
- [6] Zhang Z., Urban K. // Phil. Mag. Lett. 1989. V. 60. N 3. P. 97–102.
- [7] Ovid'ko I.A. // Z. Phys. B. 1989. V. 77. N 3. P. 409–412.
- [8] Hatwalne Y., Krishnamurthy H.R., Pandit R., Ramaswamy S. // Phys. Rev. Lett. 1989. V. 62. N 23. P. 2699–2702.
- [9] Овидько И.А. Дефекты в конденсированных средах: стеклах, кристаллах, квазикристаллах, жидких кристаллах, магнетиках, сверхтекучих жидкостях. Л.: Знание, 1991. 248 с.
- [10] Ovid'ko I.A. // Mater. Sci. Eng. A. 1992. V. 154. N 1. P. 29–33; 1993. V. 160. N 2. P. L1–L3; 1993. V. 163. N 1. P. 67–72.
- [11] Kleman M., Sommers Ch. // Acta Metall. Mater. 1991. V. 39. N 3. P. 287–293.
- [12] Janssen T. // Phys. Rep. 1988. V. 168. N 2. P. 55–113.
- [13] Rivier N., Lawrence A.J.A. // Physica B. 1988. V. 150. N 2. P. 190–202.
- [14] Gratias D., Thalal A. // Phil. Mag. Lett. 1988. V. 57. N 2. P. 63–68.
- [15] Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М.: Металлургия, 1987. 214 с.

Институт проблем машиноведения РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
22 декабря 1993 г.

УДК 548:537.611.44

© Физика твердого тела, том 36, № 12, 1994
Solid State Physics, vol. 36, N 12, 1994

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ НАМАГНИЧЕННОСТИ НА МАГНЕТСОПРОТИВЛЕНИЕ ТОНКОГО ФЕРРОМАГНИТНОГО СЛОЯ

Ю.И.Маньков

В последнее время большое внимание уделяется исследованию эффекта гигантского магнетосопротивления, который наблюдается в многослойных структурах ферромагнетик–неферромагнитный металл при антеферромагнитном взаимодействии между ферромагнитными слоями (см., например, обзор [1]). Эти исследования стимулировали изучение электрических свойств ферромагнетиков с неоднородностями иной природы. Хорошо известно, что заметное магнетосопротивление, обусловленное намагничиванием в слабом магнитном поле, наблюдается в многодоменном металлическом ферромагнетике при низкой температуре [2,3] (см. также ссылки в [3]). Распределение намагниченности, неоднородное по толщине образца, может возникнуть в ферромагнетике с поверхностной анизотропией [4]. Часть электронов в таком материале захватывается неоднородным полем магнитной индукции \mathbf{B} и движется инфинитно вдоль поверхности слоя [5]. Эта особенность динамики захваченных электронов приводит к модификации