

05;11

Трансформация структуры поверхности кристаллов мусковита при деформации изгиба

© С.А. Князев, В.Е. Корсуков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 16 декабря 2003 г.

Методом дифракции медленных электронов исследована трансформация структуры поверхности кристаллов мусковита под действием деформации изгиба. Обнаружена анизотропия перестройки поверхности тонких пластин, вырезанных вдоль кристаллографических осей a и b . Полученные результаты свидетельствуют о многоступенчатом характере квазиобратимого изменения структуры поверхности слюды в нанометровом масштабе.

Многие из исследований структуры различных веществ с атомным разрешением, в которых используются методы сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии, выполнены на объектах, выращенных на поверхности слюды типа мусковит (см., например, [1–4]). Это обусловлено тем, что мусковит обладает совершенной спайностью и атомно-гладкую поверхность слюды в макроскопическом масштабе сравнительно легко получить расщеплением кристалла вдоль сетки ионов калия. В большинстве работ процесс самоорганизации структуры вещества, наносимого на поверхность слюды, рассматривается без учета возможных изменений микрорельефа поверхности самой слюды, которые могут иметь место из-за возникновения значительных механических напряжений на границе с осаждаемым материалом. Поэтому исследования трансформации структуры поверхности слюды при механическом воздействии представляются нам весьма актуальными.

В данной работе методом дифракции медленных электронов (ДМЭ) изучались изменения структуры поверхности кристаллов мусковита при изгибе тонких (~ 0.04 mm) полосок слюды, вырезанных вдоль основных кристаллографических осей a и b . Схема нагружения образцов представлена на рис. 1. Устройство для изгиба кристаллов слюды монтировалось на фланце кристаллодержателя низковольтного

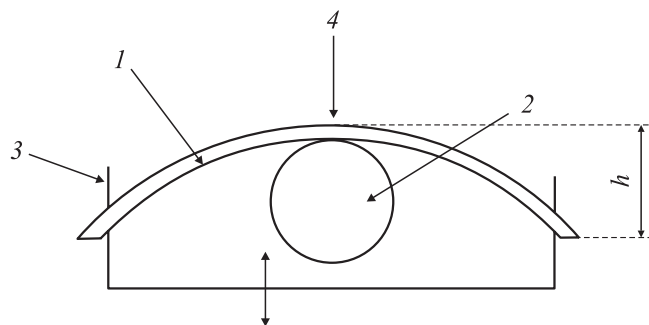


Рис. 1. Схема нагружения кристаллов слюды: 1 — полоска слюды, 2 — направляющий цилиндр, 3 — скоба, 4 — пучок электронов.

дифрактометра, что позволяло деформировать образец непосредственно в процессе наблюдения картины ДМЭ. Изгиб слюдяной полоски 1 осуществлялся путем смещения краев полоски при помощи скобы 3, так что центральная часть образца изгибалась относительно боковой поверхности направляющего цилиндра 2.

При изгибе кристаллов слюды наблюдались значительные изменения формы дифракционных максимумов без появления новых рефлексов. Эти изменения появлялись одновременно на всей картине дифракции и увеличивались с ростом нагрузки. Они носили квази-обратимый характер: при снятии нагрузки форма рефлексов восстанавливалась почти полностью. Помимо того наблюдалось общее смещение дифракционной картины в направлении деформации как единого целого по люминесцентному экрану под нагрузкой. Не удалось обнаружить изменений на дифракционных картинах со временем при постоянной нагрузке вплоть до экспозиции в несколько часов. Характер трансформации картин ДМЭ для полосок, вырезанных в различных кристаллографических направлениях, имел существенное различие. На рис. 2 представлена зависимость формы одного из дифракционных максимумов от величины стрелки прогиба для обоих типов полосок слюды.

На исходных картинах ДМЭ от ненагруженной поверхности образца, вырезанного вдоль оси a (тип А), рефлексы имели округлую форму, слегка вытянутую в направлении короткой стороны пластины (ось b).

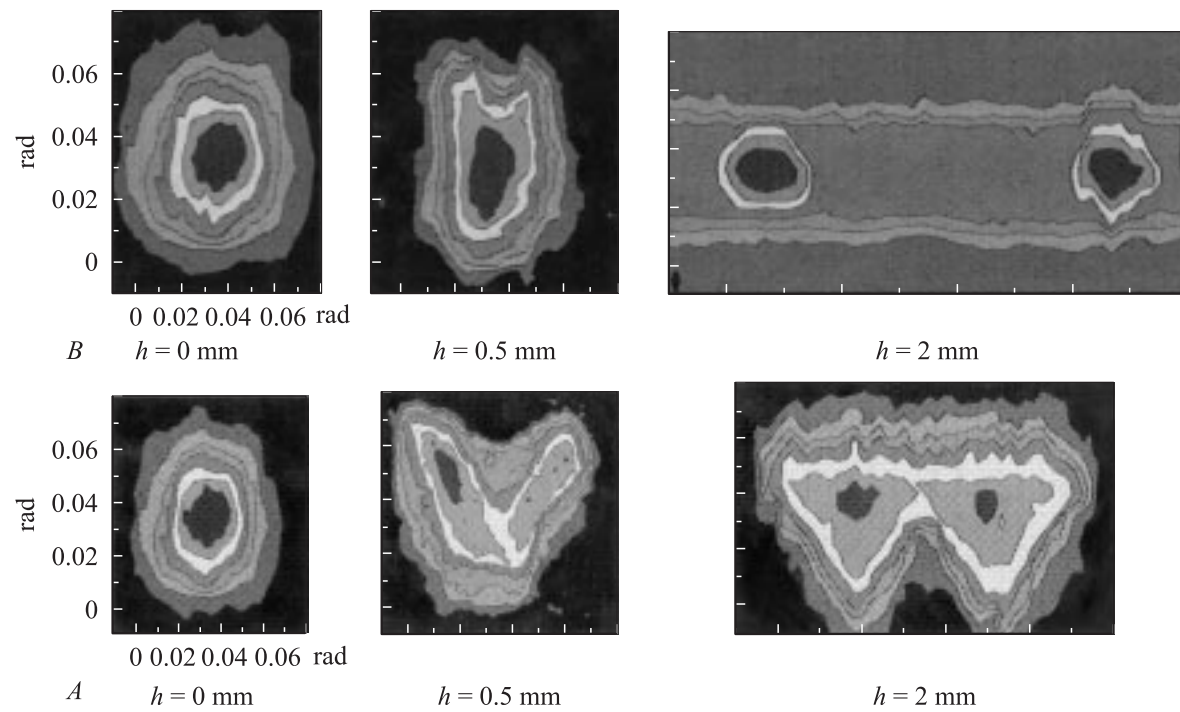


Рис. 2. Зависимость формы дифракционного максимума от величины стрелки прогиба. $U = 117$ V, рефлекс (02).

При значении стрелки прогиба $h = 0.5$ mm начиналось формирование V-образной формы рефлексов, начиналось раздвоение дифракционных максимумов с одновременным их уширением в направлении, перпендикулярном нагрузке. Рост нагрузки до $h = 1$ mm приводил к увеличению расстояния между раздвоенными рефлексами, они вновь приобретали округлую форму, вокруг каждого из раздвоенных рефлексов образовывался ореол, формировались полосы между рефлексами в направлении деформации кристалла. Характер трансформации картин ДМЭ сохранялся при дальнейшем изгибе кристалла.

Для образцов, вырезанных вдоль оси b (тип B), уже на начальной стадии изгиба кристалла ($h = 0.5$ mm) происходило раздвоение дифракционных максимумов и образование рефлексов V-образной формы. При дальнейшей деформации слюды происходило формирование раздвоенных рефлексов треугольной формы. В отличие от предыдущего случая при одинаковой величине стрелки прогиба расстояние между раздвоенными рефлексами было существенно меньше, практически отсутствовали полосы в направлении деформации кристалла.

Для оценки величины напряжения σ , возникающего на поверхности слюды при деформации изгиба, были проведены дополнительные эксперименты по измерению величины стрелки прогиба в зависимости от силы, приложенной к центральной части образца. Оказалось, что эта зависимость является линейной. На основании этой зависимости было определено эффективное значение модуля упругости и рассчитана величина σ по классической схеме, которая достигала 90 N/mm² при максимальной стрелке прогиба $h = 2$ mm.

Как видно из представленных результатов, трансформация структуры поверхности мусковита в результате механического воздействия носит многоступенчатый характер. Общее смещение всей картины ДМЭ под нагрузкой свидетельствует об образовании на поверхности слюды электрических доменов крупного масштаба, соответствующих размерам первичного пучка электронов (~ 0.7 mm). Такая крупномасштабная электрическая структура, действительно, наблюдалась в процессе расщепления слюды [5]. Поскольку при изгибе слюды основные изменения на картинах ДМЭ связаны не с появлением новых рефлексов или изменением расстояния между ними, а с трансформацией формы дифракционных максимумов, то эти изменения имеют масштаб, соответствующий размерам области когерентности электронов в пучке, т.е. несколько десятков нанометров.

Как видно из представленных результатов, наряду с общим характером изменения структуры поверхности слюды под действием механической нагрузки, такими как квазиобратимость, отсутствие временной зависимости, для обоих типов полосок наблюдалось существенное различие в характере трансформации картин ДМЭ при изгибе тонких кристаллов слюды, вырезанных в различном кристаллографическом направлении.

В работе [6] методом рентгеноструктурной топографии (метод Ланга) обнаружено образование периодической складчатой структуры на поверхности кристаллов мусковита, которая связывалась с анизотропией механических свойств слюды в плоскости (001), содержащей оси a и b . Как показали расчеты [7], переход от гладкой к периодической зубчатой структуре приводит к общему раздвоению дифракционных максимумов на картинах ДМЭ во всем интервале энергии электронов. Величина этого раздвоения растет с уменьшением угла при вершине зуба. Таким образом, наблюдаемая динамика расщепления рефлексов при изгибе полосок слюды может быть связана с возникновением периодических структур нанометрового масштаба на поверхности мусковита.

В работах [8,9] наблюдались „необычной“ формы рефлексы на картинах ДМЭ от поверхности кристаллов мусковита, полученной расщеплением слюды на воздухе, в вакууме и атмосфере аргона. Так, Muller отмечает появление рефлексов треугольной формы, трехлучевых звезд и рефлексов, вытянутых в одном направлении при ДМЭ от свежесколотой в вакууме поверхности кристаллов мусковита безо всякого дополнительного механического воздействия на образец. Образцы, полученные расщеплением слюды на воздухе, давали рефлексы только круглой формы. Переход от рефлексов V -образной формы к триплетной под действием лазерного излучения отмечено в [10]. Во всех этих работах появление рефлексов различной формы связывается с возникновением на поверхности слюды электрических диполей, расположенных под углом 120° относительно друг друга. Эти данные свидетельствуют о том, что структура поверхности кристаллов мусковита в нанометровом масштабе в значительной степени зависит от предыстории образца и условий приготовления исследуемой поверхности, а также способна перестраиваться в результате внешнего воздействия. Как видно из рис. 2, формирование рефлексов треугольной формы при изгибе слюды происходило через образование рефлексов V -образной формы. К тому же угол при вершине рефлексов тре-

угольной формы плавно изменялся с ростом нагрузки. Энергетическая зависимость угловых размеров дифракционных максимумов, как и в случае двухосного нагружения кристаллов слюды [11], не укладывается в модель чисто электростатического влияния поля доменов на картины ДМЭ. Поэтому представленные в данной работе результаты не могут быть сведены только к образованию электрической доменной структуры на поверхности деформируемого кристалла слюды, а свидетельствуют о многоступенчатом характере перестройки поверхности мусковита под действием механической нагрузки и, несомненно, должны учитываться при выращивании пленок на слюде.

Список литературы

- [1] *Plank H., Resel R., Purger S.* // Phys. Rev. B. 2001. V. 64. P. 235423.
- [2] *Balzer F., Rubahn H.-G.* // Appl. Phys. Lett. 2001. V. 79. P. 3860.
- [3] *Dong J., Mao G.* // Langmuir. 2000. V. 16. P. 6641.
- [4] *Demand M., Hehn M., Stamps R.L.* // Eur. Phys. J. 2002. B25. P. 167–176.
- [5] *Дерягин Б.В., Мецик М.С.* // ФТТ. 1959. Т. 1. В. 10. С. 1521–1528.
- [6] *Castlavsky J.L., Vedam K.* // J. Appl. Phys. 1970. V. 41. N 1. P. 50–53.
- [7] *Князев С.А., Корсуков В.Е.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 13. С. 64–69.
- [8] *Muller K., Chang C.C.* // Surf. Sci. 1969. V. 14. P. 39.
- [9] *Bhattacharyya K.G.* // Ind. J. Chem. A. 1993. V. 32. P. 92.
- [10] *Gerlach R., Polanski G., Rubahn H.-G.* // Surf. Sci. 1996. P. 352–354, h. 485–9.
- [11] *Князев С.А., Корсуков В.Е., Обидов Б.А.* // ФТТ. 1994. Т. 36. С. 1315–1320.