

## РАЗРУШЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛА ВИСМУТА ПОСРЕДСТВОМ СКОЛА

Марков О. И., Хрипунов Ю. В.

*Орловский государственный университет, Орел, Россия*

[O.I.Markov@mail.ru](mailto:O.I.Markov@mail.ru)

Висмут является полуметаллом с малым перекрытием зон валентной и проводимости, что делает его интересным объектом исследования в физике. Подавляющее большинство работ посвящено исследованию объемных свойств монокристаллов висмута. Гораздо меньше интереса уделялось исследованию поверхности скола монокристалла, в частности, механических свойств. Исследуемая поверхность монокристалла висмута получается путем скола по плоскости спайности. Этот метод применим ко всем металлам, которые способны значительно деформироваться при комнатной температуре, но хрупки при некоторой более низкой температуре. Поэтому скол монокристалла висмута легче всего происходит под действием удара при низких температурах. В связи с этим представляет интерес исследование особенностей процесса разрушения.

Монокристалл висмута выращен методом зонной перекристаллизации. Образцы для исследования вырезались на электроискровом станке. Затем проводилось скалывание образца по тригональной плоскости. Сколы были получены при комнатной температуре или после охлаждения образца в жидком азоте. Все кажущееся многообразие видов поверхностей разрушения можно объяснить как результат действия весьма ограниченного числа механизмов разрушения, модифицированных влиянием структуры материала и температурно-скоростных условий нагружения. Следует выделить следующие механизмы разрушения кристалла: скол, хрупкое межъячеечное разрушение.

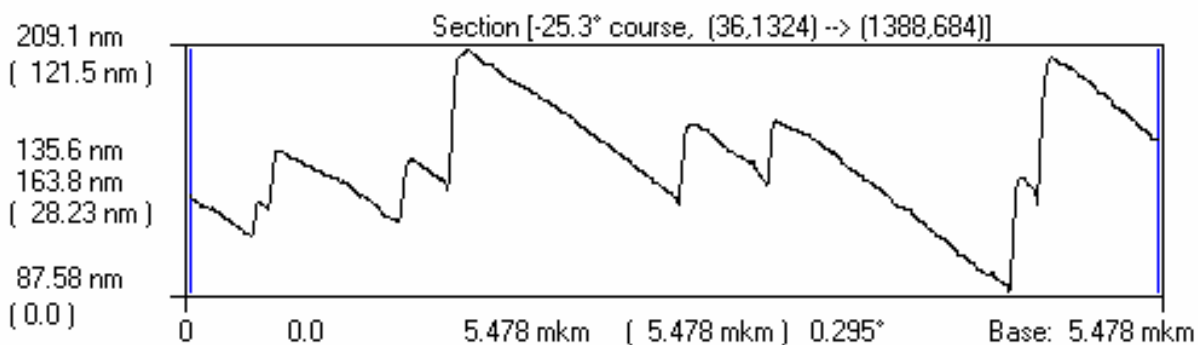
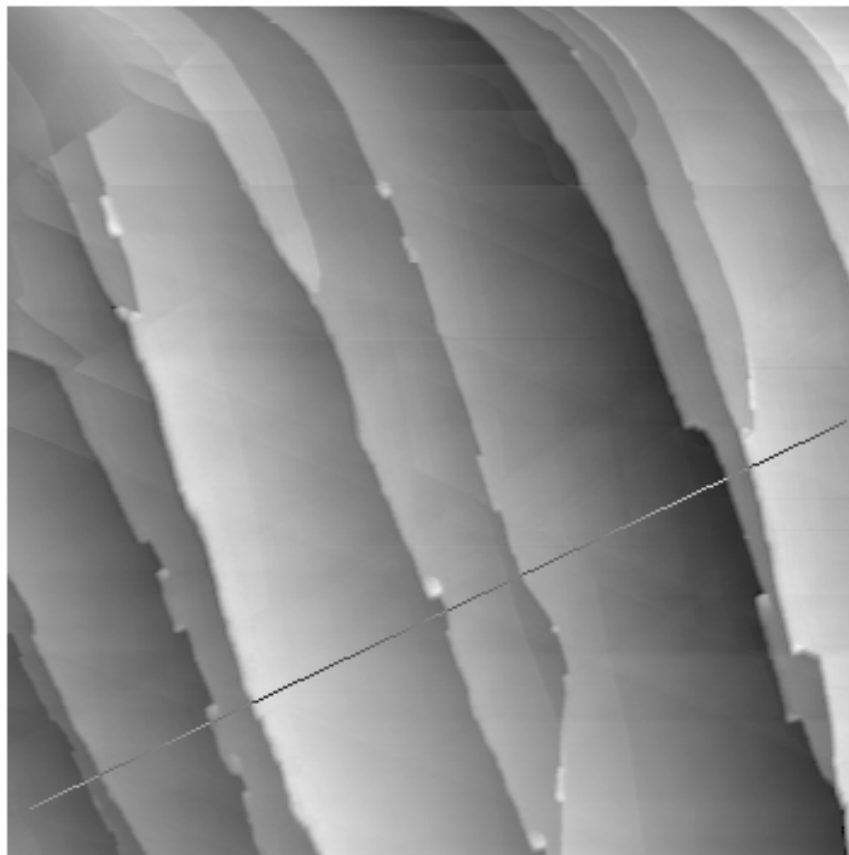
Трещины, возникающие в кристаллах, под действием сосредоточенной нагрузки как при ударе, легче образуются по плоскостям спайности. Плоскость скола монокристалла висмута уже исследовалась методами СТМ [1]. В данной работе при исследовании скола монокристалла висмута использовалась АСМ. При АСМ исследовании поверхности скола по базисной плоскости монокристалла висмута обращают на себя внимание многочисленные террасы. Причины, образования террас заключаются в следующем [2]. После воздействия скалывающего инструмента кроме главной трещины обычно образуется целый ряд отдельных трещин, которые могут объединяться. Объединение этих трещин связано с разрывом перемычек между ними и со значительной пластической деформацией. Кроме того, террасы могут образовываться, если трещина проходит через винтовую дислокацию, вектор Бюргерса которой не лежит в плоскости распространения трещины.

Особенно много террас получается при скалывании, производимом при комнатной температуре, что видно на скане (рис.1). Профиль сечения приведен ниже. Высота ступеней между террасами составляет от 15 до 70 нм, ширина террас меняется от 13 до 1300 нм. Обращает внимание наклон террас, который принимает значения от  $2.7^\circ$  до  $4.1^\circ$ . Наклон террас можно объяснить наличием трещин под ними, появившихся в момент скалывания кристалла. Угол, на который поворачивается тригональная плоскость двойника, составляет  $2.34^\circ$  [3]. Наименьший угол  $2.7^\circ$  показывает, что террасы получают путем пластической деформации, приводящей к двойникованию. Шероховатость поверхности террас, составила от 0.4 до 1.2 нм. Следует отметить, что величина 0.4 нм соответствует двухатомному слою висмута [3].

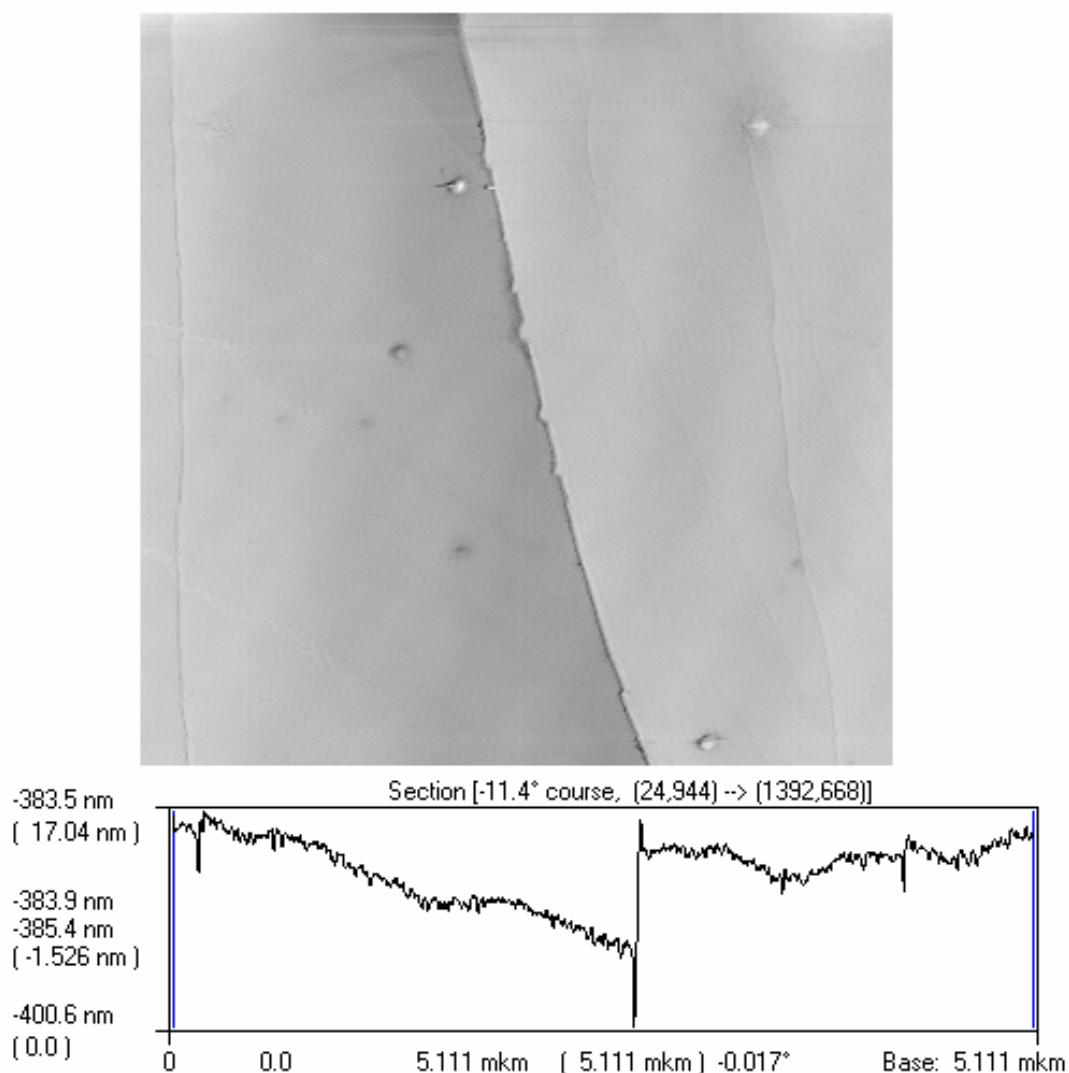
В кристаллах висмута плоскость спайности, получаемая при расколе после охлаждения в жидком азоте, визуально представляет собою почти что идеальную, зеркально-гладкую поверхность. На АСМ скане скола кристалла (рис.2), полученного при охлаждении образца в жидком азоте, количество террас значительно меньше и ширина их

соответственно увеличивается до 800 нм – 2.5 мкм. В тоже время высота ступеней между террасами существенно уменьшается до 1.5 – 15 нм. Наклон террас составляет менее 0.5°. И в том и другом случае границы террас не являются прямыми, это связано с тем, что они не следуют строго по одному атомному ряду, а постоянно происходят переходы трещины в другие ряды, что может быть связано с дефектностью кристалла.

Size: [ 5.156 mkm x 5.156 mkm x 168.7 nm ] (1409 x 1409 pt)



**Рис . 1.** АСМ - изображение скола участка монокристалла Vi, полученного при комнатной температуре, ниже скана приведен профиль сечения помеченного направления.



**Рис. 2.** АСМ - изображение скола участка монокристалла Вi, полученного при азотной температуре, ниже скана приведен профиль сечения перпендикулярного направления к границе террасы.

Таким образом, атомно-силовая микроскопия позволяет получить новую информацию о структуре поверхности скола монокристалла висмута. Видно, что скалывание монокристалла висмута при комнатной температуре ведет к высокой дефектности поверхности, связанной с пластической деформацией. Снижение температуры скалывания до азотной позволяет получить менее дефектный скол.

### Список литературы

1. Трояновский А.М., Эдельман В.С. Образование атомно гладких террас при сколе кристалла висмута и динамика их границ//Письма в ЖЭТФ. 1994. т.60.в.2. С.104-108.
2. Современная кристаллография. Том 4.Физические свойства кристаллов./ Шувалов Л.А. и др.М.: Наука. 1981. 496с.
3. Трояновский А.М., Эдельман В.С. Сканирующая туннельная микроскопия поверхности скола висмута//Кристаллография. 1999. т.44.№.2. С.336-346.