

Изобретение относится к электронной микроскопии и может быть использовано в сканирующих туннельных микроскопах, с помощью которых исследуют поверхности проводящих материалов.

Одним из главных требований, предъявляемых к зондирующим эмиттерам сканирующего туннельного микроскопа, является получение острия эмиттера со сферической вершиной минимального радиуса, поскольку последний прямо определяет пространственное разрешение, уровень шумов при измерениях, стабильность работы и другие характеристики микроскопа. Однако с уменьшением радиуса сферической вершины снижается механическая жесткость зондирующего эмиттера. Устранение этого противоречия является одной из главных задач в сканирующей электронной микроскопии.

Известен зондирующий эмиттер для сканирующего туннельного микроскопа, выполненный в виде стержня с рабочим острием, на вершине которого сформирован полусферический микровыступ.

Радиус кривизны такого микровыступа менее 100Å. Недостатком этого эмиттера является ограниченность области применимости, связанная с тем, что при отклонении оси микровыступа от нормали к зондируемой поверхности происходит снижение достоверности информации, получаемой таким микроскопом. Снижение достоверности связано с тем, что туннельная эмиссия при отклонении оси микровыступа от упомянутой нормали будет происходить не с микровыступа, а с участка полусферической поверхности зонда, наиболее близко расположенного к зондируемой поверхности.

Известен зондирующий эмиттер для сканирующего туннельного микроскопа, выполненный в виде стержня с рабочим острием, образованным последовательностью ступенек, на последней из которых сформирован полусферический микровыступ [2]. В таком эмиттере рабочее острие образовано двумя коническими ступеньками, причем половина угла раствора конуса первой ступеньки больше соответствующего параметра конуса второй ступеньки. Радиус полусферического микровыступа при этом составляет 500Å. При таком выполнении рабочего острия зондирующего эмиттера незначительное отклонение оси микровыступа от нормали к зондируемой поверхности не изменит характер протекания туннельной эмиссии: последняя будет происходить только через полусферический микровыступ, обеспечивая достоверность получаемой с помощью туннельного микроскопа информации.

Однако при таком соотношении между половинами угла раствора конусов первой и второй ступенек жесткость, и как следствие, виброустойчивость зондирующего эмиттера невелика. Разрешающая способность микроскопа с таким эмиттером низкая из-за значительной величины радиуса кривизны микровыступа. При таком количестве ступенек для обеспечения высокого пространственного разрешения потребуется увеличение их длины, однако, это определит невысокую жесткость и в итоге виброустойчивость эмиттера.

Известен зондирующий эмиттер для

сканирующего туннельного микроскопа, выполненный в виде стержня с рабочим острием, образованным последовательностью ступенек, на последней из которых сформирован полусферический микровыступ [3]. В таком эмиттере рабочее острие образовано последовательностью конусообразных ступенек, число которых составляет до четырех, а радиус меньшего основания каждой последующей конусообразной ступеньки меньше того же радиуса предыдущей конусообразной ступеньки на половину высоты.

Последовательное уменьшение указанных радиусов позволяет получить более равномерное и плавное уменьшение площади поперечного сечения острия, что приводит к повышению механической жесткости и, как следствие, виброустойчивости рабочего острия, и дает возможность получить микровыступ с радиусом до 200Å.

Однако дальнейшее уменьшение радиуса полусферического микровыступа требует увеличения длины всего рабочего острия, что снижает его виброустойчивость. При этом длины ступенек становятся малыми настолько, что это вызывает трудность в воспроизведении. Эти обстоятельства не позволяют в итоге повысить пространственное разрешение микроскопа без ухудшения виброустойчивости.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствовать зондирующий эмиттер для сканирующего туннельного микроскопа и, путем выбора материала с определенной структурой, а также формы и числа ступенек, повысить разрешающую способность микроскопа без ухудшения виброустойчивости эмиттера.

Поставленная задача решается в зондирующем эмиттере для сканирующего туннельного микроскопа, выполненном в виде стержня с рабочим острием, образованным последовательностью ступенек с уменьшением размера основания каждой ступеньки к вершине острия, со сформированным на последней ступеньке полусферическим микровыступом, в котором, в соответствии с изобретением, эмиттер выполнен из материала с осевой текстурой, ступеньки выполнены полусферическими, а число ступенек определено из условия:

$$n = \text{Ent}\{\lg(r_{n+1}/r_1)\lg(1 - \cos\beta)\},$$

где Ent - целая часть действительного числа;

r_{n+1} - радиус кривизны полусферического микровыступа;

r_1 - радиус кривизны первой ступеньки;

$r_i/r_{i-1} = \text{const}$ ($i = 1, 2 \dots n$);

β - угол рассеяния текстуры.

Выполнение рабочего острия в виде последовательности ступенек с уменьшением размера основания каждой ступеньки к вершине острия позволяет получить равномерное и плавное уменьшение площади поперечного сечения острия, что приводит к повышению виброустойчивости рабочей части и уменьшению радиуса полусферического микровыступа (т.е. разрешающей способности микроскопа).

Выполнение ступенек полусферическими позволяет создавать на каждой предыдущей ступеньке последующую ступеньку сколь угодно малого радиуса, что обеспечивает возможность получения радиуса кривизны последней ступеньки существенно меньше 200Å без ухудшения

виброустойчивости рабочего острия.

Выполнение эмиттера из материала с осевой текстурой позволяет создать последовательность полусферических ступенек вблизи оси эмиттера, что определяет возможность реализации высокого разрешения.

Выбор числа ступенек из условия:

$$n = \text{Ent}\{\lg(r_{n+1}/r_1)\lg(1 - \cos\beta)\},$$

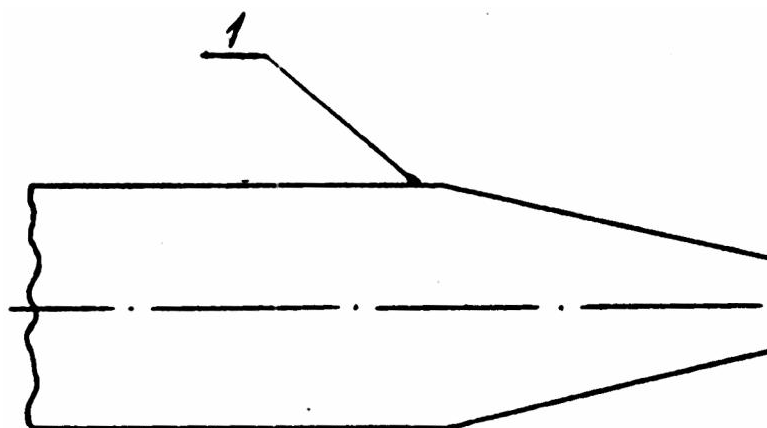
определяет оптимальное соотношение между радиусом полусферического микровыступа и числом ступенек, при котором обеспечивается высокая разрешающая способность микроскопа без ухудшения виброустойчивости эмиттера.

На фиг.1 представлен общий вид предлагаемого зондирующего эмиттера; на фиг.2 - рабочее острие, увеличенное в масштабе; на фиг.3 - ионно-микроскопическое изображение полусферической вершины микровыступа зондирующего эмиттера, ($\times 10^{18}$); на фиг.4 - изображение зондируемой поверхности графита в сканирующем туннельном микроскопе.

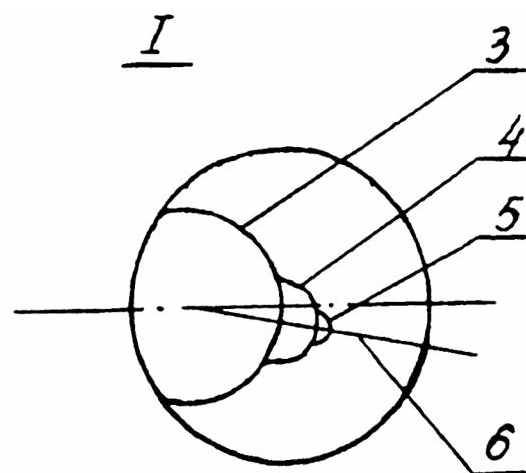
Зондирующий эмиттер выполнен в виде стержня 1 (фиг.1) с рабочим острием 2. Острие 2 образовано последовательностью полусферических ступенек 3 и 4 (фиг.2). Размер основания от ступеньки 3 к ступеньке 4 уменьшается к вершине рабочего острия 2. На ступеньке 4 сформирован полусферический микровыступ 5, являющийся вершиной рабочего острия 2. Последовательность полусферических ступенек 3 и 4, а также полусферический микровыступ 5 ориентированы вдоль кристаллографической оси 6, соответствующей оси текстуры.

Зондирующий эмиттер с радиусом кривизны полусферического микровыступа 5 равным 50\AA устанавливали в держатель туннельного сканирующего микроскопа в положении, нормальным к поверхности зондируемого образца из пиролитического графита. Затем зондирующий эмиттер приближали к поверхности образца до расстояния $\sim 10\text{\AA}$ до появления туннельного тока. Одновременно регистрировали распределение туннельного тока при сканировании зонда вдоль поверхности образца. Полученная информация обрабатывалась компьютером и результаты обработки выводились на дисплей.

Как показали эксперименты, предлагаемый зондирующий эмиттер (фиг.3) позволяет в туннельном сканирующем микроскопе получить разрешение, достаточное для выявления атомарного рельефа поверхности (фиг.4). Изображение зондируемой поверхности получено с помощью сканирующего туннельного микроскопа, выпускаемого Зеленоградским институтом физпроблем, не снабженным специальными демпфирующими элементами, что свидетельствует о виброустойчивости рабочего острия предлагаемого зондирующего эмиттера.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3