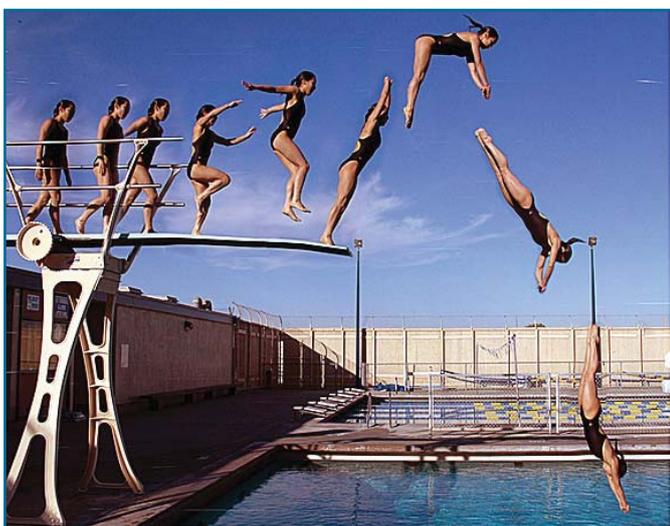


КАНТИЛЕВЕР (Cantilever)

«Сильные и могущественные не имеют того преимущества, какое есть у нежного и слабого».

Лао-цзы



Кантилевер – консоль, кронштейн – одна из основных частей сканирующего зондового микроскопа. Представьте себе трамплин для прыжков в воду, но не для обычных людей, таких, как мы с вами, а для малюсеньких микрочеловечков, ноги которых в 10 раз тоньше человеческого волоса, – именно так выглядит кантилевер. С одной стороны, кантилевер – это всего лишь крошечная балка, толщина которой составляет от 0,1 до 5 мкм, ширина – от 10 до 40 мкм, а длина – от 100 до 200 мкм (рис. 1). С другой стороны, кантилевер является незаменимым помощником нанотехнолога. Только с его помощью ученые могут «ощупывать» поверхность и лежащие на ней отдельные молекулы, перемещать их, производить химические опыты со столь малыми количествами веществ, которые нельзя взвесить даже на самых точных лабораторных весах.

От длины, ширины, толщины, а также природы материала, из которого сделан кантилевер, зависит его жесткость. Чем кантилевер длиннее

и тоньше, тем легче он гнется. Можно сделать такой мягкий кантилевер, что с его помощью возможно будет надавить на поверхность с силой в одну миллиардную долю ньютона. Это в тысячу раз меньше, чем сила, с которой пылинка давит на стол, на котором она лежит!

Такие маленькие силы нужны в первую очередь в *сканирующих зондовых микроскопах*, которые «ощупывают» поверхность и могут отличить даже лежащие на ней отдельные молекулы. В этих приборах используются кантилеверы, на кончике которых расположена микроскопическая и очень острая иголка – зонд. Если бы кантилевер не мог хорошо гнуться, то при подводе его к исследуемой поверхности с помощью системы нанопозиционирования, зонд просто по-

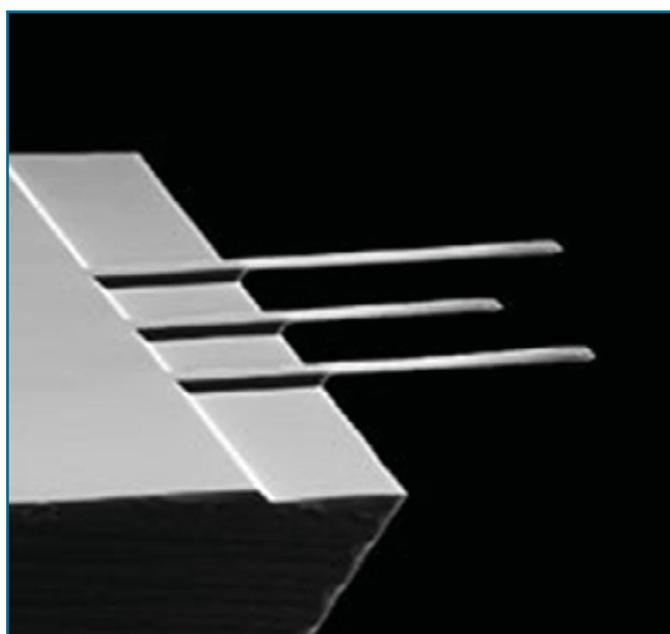


Рис. 1. Микрофотография трех кантилеверов разной длины

вредил бы поверхность, воткнувшись в нее. Но кантилевер всегда подбирают настолько мягким, чтобы при подводе к поверхности происходил его изгиб, а поверхность оставалась в целостности и сохранности. Величина отклонения или частота колебаний кантилевера определяется силой его взаимодействия с атомами или молекулами на поверхности исследуемого образца.

Промышленное производство кантилеверов основано на двух материалах — кремнии и нитриде кремния. Острия кантилеверов для *атомно-силовой микроскопии* (АСМ) также изготавливают из кремния, нитрида кремния или алмаза, а также используют покрытия TiN, W₂C, Pt, Au или магнитных материалов Fe-Ni/Cr, Co/Cr, CoSm/Cr. Чтобы сделать столь маленькие детали, используют процессы литографии, химического и физического травления. Для улучшения светоотражающих свойств обратную сторону зонда АСМ обычно покрывают алюминием или золотом с помощью термического напыления в вакууме. Покрытие кантилевера пьезоэлектрической керамикой на основе цирконата-титаната свинца (Pb[Zr_xTi_{1-x}]O₃, ЦТС или PZT) позволяет управлять движением кантилевера, прикладывая к контактам разность потенциалов, или непосредственно считывать частоту его свободных колебаний. Такие устройства находят сегодня широкое применение для разработки и создания *нанозлектромеханических систем, систем нанопозиционирования, наноактюаторов, наносенсоров, нановесов* и т.д.

Геометрия кантилевера определяет важные механические свойства (в первую очередь, жесткость и резонансную частоту) и варьируется в

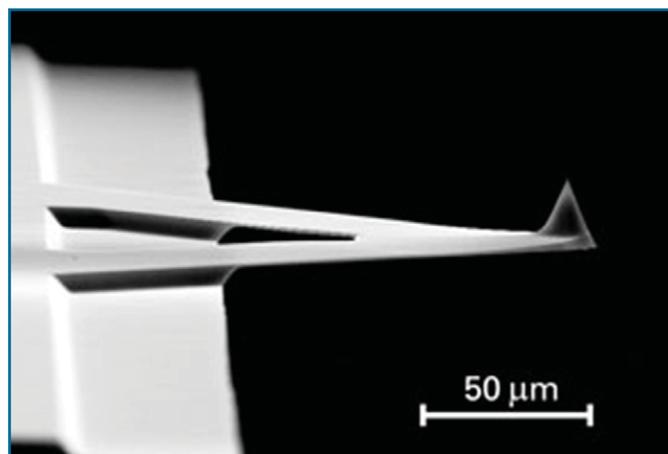


Рис. 2. V-образный кантилевер для атомно-силового микроскопа с пирамидальным зондом (фирма MikroMasch)

широких пределах. Ниже приведена формула, определяющая константу жесткости k :

$$k = \frac{Ewt^3}{4L^3}$$

где E — модуль Юнга материала кантилевера, w — ширина, t — толщина, а L — длина прямоугольного кантилевера. Жесткие кантилеверы применяются для модификации поверхности — используя алмазные иглы, можно делать гравировку и проводить наночеканку, выдавливая на поверхности крошечные рисунки (см. *Наноиндентер*). Кроме обычных прямоугольных кантилеверов, похожих на трамплин для прыжков воду, делают, например, V-образные кантилеверы (рис. 2), которые легко гнутся в перпендикулярном своей плоскости направлении, но практически не перекручиваются.

Литература:

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Мир, 2004.