

СЕКЦИЯ «ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ»

(МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

УДК [001+62] (09)

К.С.Ладутенко (4 курс, ФТФ)

ИСТОРИЯ И ОСНОВЫ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ
(ИНСТРУМЕНТ НАНОТЕХНОЛОГИИ РУБЕЖА XX-XXI ВЕКА)

Уже в середине 80-х годов зародилась мысль о том, что манипулирование отдельными атомами и молекулами может быть вполне реальным. То, что ранее называлось шарлатанством и мистификацией, на наших глазах становится наукой. Всемирная история сканирующих зондовых микроскопов началась в 1982 г. с работы Г.Биннига и Г.Рорера (к слову, получивших за эту работу Нобелевскую премию) из Цюрихского отделения IBM [1]



Вот эти два симпатичных человека и помогли людям увидеть атомы. В принципе, атомы удавалось наблюдать, например, в ионный проектор, но только несколько десятков штук на кончике прочной, проводящей иглы, и в хороший электронный микроскоп, но только в периодической решетке.

В 1981 году ими был сконструирован первый зондовый микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп (СТМ), при помощи которого удалось визуализировать атомы.

Эпохальность изобретения СТМ состоит в том, что с помощью зонда этого прибора атомы можно «потрогать», определить модуляцию электронной плотности, энергии связей. При этом можно наблюдать не просто «атомы», а каждый по отдельности, да еще в заданных точках! В то время идея туннельной микроскопии просто носилась в воздухе. Авторами этого микроскопа могли стать и многие российские ученые, занимающиеся исследованиями туннельных эффектов. Принцип работы такого микроскопа настолько прост, что его мог сформулировать любой квалифицированный физик, набравшийся мужества объединить в одно два раздельно существующих понятия – "туннельный" и "микроскоп". Как оказалось в дальнейшем, фактически любые типы взаимодействия тонкого острия зонда с поверхностью (электрические, магнитные, механические и любые другие) могут быть преобразованы соответствующими регистрирующими приборами и компьютерными программами в прецизионное изображение поверхности.

Используя приводы, или, как их обычно называют, сканеры из пьезокерамических материалов на основе окислов свинца, циркония и титана, можно организовывать повторяемые взаимные смещения образца и зонда во всех трех измерениях от долей ангстрема до сотен микрон с возможностью измерения этих смещений! Более того, современные технологии позволяют без труда изготавливать зонды, оканчивающиеся единичными атомами, сохраняющимися как на воздухе, так и в растворах длительное время

без существенных изменений. Измерения же можно производить и в глубоком вакууме, где активные поверхности металлов не претерпевают химических изменений, и на воздухе, и на границе твердое тело – жидкость. Единственной, но существенной неприятностью в СТМ является то, что регистрируемой величиной в процессе зондирования является электрический ток в цепи зонд – поверхность, а, следовательно, метод годится только для проводящих поверхностей. В 1986 году придумали, как обойти эту трудность — зонд поместили на плоскую упругую пластину в виде закрепленной с одного конца балки, которую назвали кантилевером, и начали измерять отклонения другого конца этой балки под действием поверхностных сил отталкивания. Оказалось, что современная электроника позволяет измерять угловые смещения балки с точностью до 10^{-7} радиана, а это делает возможной регистрацию атомного рельефа поверхности. Так появился атомно-силовой микроскоп. Стало ясно, что родился новый физический метод колоссальной практической значимости — сканирующая зондовая микроскопия, а вместе с ней и технологический прием локального воздействия на поверхность (электрического, магнитного, механического и т. д.) с точностью ориентации до отдельных атомов. Его относят сейчас к основным методам нанотехнологии.

В настоящее время уже существует целый спектр сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ): туннельный (СТМ); атомно-силовой (АСМ); магнитный (МСМ); оптический микроскоп ближнего поля и другие. Бинниг и Рорер писали в 1986 году: "Сканирующая туннельная микроскопия вышла из "возраста подмастерья", опирается на надежную базу и теперь начинает годы странствий. Не хотелось бы строить догадки, куда в конце концов приведет ее путь, но мы искренне верим, что красота атомных структур послужит стимулом к применению данного метода к решению тех задач, в которых он сможет принести наибольшую пользу человечеству". Несмотря на некоторый первоначальный скептицизм мировой общественности относительно широчайших возможностей этого скромного инструмента исследователя и, как теперь стало очевидным, (нано)технолога, простота изготовления и уникальные способности СЗМ в работе на нанометровой шкале помогли ему проникнуть во все (без преувеличения) физические, химические и биологические лаборатории мира. Пожалуй, уверенную поступь нового метода легче всего проследить по представленной ниже хронологии событий.

- 1979 г. - Г.Бинниг и Г.Рорер начинают работы по созданию прибора для спектроскопических исследований участков поверхности, размеры которых менее 10 нм;
- 16 марта 1981 г. - заработан первый сканирующий туннельный микроскоп (Бинниг и Рорер);
- 1982 г. - появление сканирующего оптического микроскопа ближнего поля (D.W.Pohl);
- 1984 г. - создание сканирующего емкостного микроскопа (J.R.Matey, J.Blanc);
- 1982-1985 гг. - достижение атомарного разрешения с использованием СЗМ одновременно во многих группах (более 10);
- 1985 г. - создание первых туннельных микроскопов в России (группы В.И.Панова и М.С.Хайкина);
- 1986 г. - изобретение атомно-силового микроскопа;
- 1987 г. - создание магнитно-силового микроскопа (Y.Martin, H.K.Wickramasinghe); изготовление сканирующего фрикционного микроскопа (C.M.Mate, G.M.McClelland, S.Chiang); создание первого коммерческого сканирующего туннельного микроскопа Nanoscope-1 (фирма Digital Instruments, Santa Barbara, USA);
- 1987 г. - последующие годы - создание более 20-ти различных модификаций зондовых микроскопов;
- 1988-1989 гг. - появление в России первых сканирующих туннельных микроскопов мелкосерийного производства (В.К.Адамчук, М.С.Хайкин, А.О.Голубок, В.И.Панов, И.В. Яминский, В.А.Быков и другие);

- 1990 г. - создание первого серийного атомно-силового микроскопа "Скан-8" (МГУ, Центр перспективных технологий); - использование одиночных атомов для записи информации (Eigler);
- 1994 г. - использование атомно-силовых микроскопов на производстве (выходной контроль кремниевых пластин, магнитных носителей информации и пр.).

Среди всего семейства СЗМ особо можно выделить сканирующие туннельный и атомно-силовой микроскопы, с помощью которых наблюдаются отдельные атомы и молекулы и осуществляются направленные манипуляции с ними. По сути дела зондовые микроскопы являются единственными многофункциональными приборами для исследования как топографии поверхности, так и совокупности механических, электронных, магнитных и оптических свойств поверхности с субнанометровым пространственным разрешением. В настоящее время сканирующая зондовая микроскопия как метод исследования и воздействия на поверхность бурно развивается. Ее широкие возможности продемонстрированы в более чем 8000 научных статей. За удивительно короткий срок (прошедшие четырнадцать лет с момента изобретения) СЗМ внедрен в практику научных исследований, используется на производстве для выходного контроля годных изделий микроэлектроники, в прикладных исследованиях в химии и биологии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. G.Binnig, H.Rohrer, Ch. Gerber, E. Weibel, Physica. Ser. B, 1982, v. 109-110, p.2075.
2. <http://www.ntmdt.ru> и <http://perst.issph.kiae.ru> (2003).