

УДК 620.1:681.723

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОВЕРХНОСТИ ЧИСТОГО КРЕМНИЯ МЕТОДАМИ АСМ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Нелюб Милена Сергеевна

Студентка 3 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: Д.А. Фокин,

кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией новых материалов НОЦ «ФМНС».

Кремний является основным материалом подложек для изготовления элементной базы микро- и нанoeлектроники. Характерные размеры изготавливаемых структур имеют величину единиц нанометров, поэтому для достижения требуемых параметров при их изготовлении необходимо обеспечить шероховатость поверхности на атомарном уровне. Помимо этого, наличие контаминаций поверхности также способно оказывать негативное влияние на результаты технологических процессов. Следовательно, одной из главных метрологических задач в центрах микро- и нанoeлектроники является входной контроль качества поверхности кремния. Существует множество методик исследования поверхности, среди которых можно выделить атомно-силовую микроскопию как наиболее полно отвечающую поставленной задаче.

Отметим, что при использовании АСМ необходимо решать проблему интерпретации полученных данных, в частности анализировать возможные артефакты. В случае исследования поверхности высокоомного кремния при взаимодействии острия зонда с подложкой может происходить накопление электростатического заряда. Наличие дополнительного взаимодействия между поверхностью и зондом необходимо рассматривать как наличие дополнительного члена в уравнении их взаимодействия.

В работе представлены некоторые варианты борьбы с этим эффектом и проведен анализ сильных и слабых сторон каждого из вариантов.

Первый из них - смена режима сканирования или его параметров. Например, режим силовой спектроскопии позволяет получать данные прямых измерений взаимодействия зонда с поверхностью, но при этом полуконтактный режим позволяет сократить это время взаимодействия, что уменьшает накопление электрического заряда на поверхности. Недостаток использования такого варианта состоит в более высокой сложности интерпретации данных полуконтактного режима.

Второй – использование проводящего зонда. Металлизация на острие зонда отводит заряд, и проблема артефактов исчезает. Однако покрытие увеличивает радиус закругления острия зонда, и, как следствие, латеральное разрешение уменьшается. Кроме того, со временем металлический слой постепенно нарушается, что приводит к изменению геометрии зонда, и снижается повторяемость результатов измерений.

Третий – проведение исследований в условиях повышенной влажности (40 - 45%). При этом происходит адсорбция воды на поверхности, которая способствует стеканию заряда.

Несмотря на наличие в литературе описания искажений АСМ-изображений, связанных с накоплением электростатического заряда, предложенные решения проблемы ограничиваются повышением влажности. В докладе предложены различные подходы к борьбе с данным эффектом, проанализированы их преимущества и

недостатки, а также рассмотрен наблюдаемый эффект как потенциальный способ записи и считывания информации (например, за счёт управляемого накопления заряда).

Литература

1. *Миронов В. Л.* Основы сканирующей зондовой микроскопии : учеб. пособие для студ. старших курсов вузов / В. Л. Миронов ; Рос. акад. наук, Ин-т физики микроструктур. — М. : Техносфера, 2004. — 143 с. : ил. — (Мир физики и техники). — ISBN 5-94836-034-2.
2. *Emerson L., Cox G.* Charging Artefacts in Atomic Force Microscopy // *Micron*. — 1994. — Vol. 25, No. 3. — P. 267–269. — DOI 10.1016/0968-4328(94)00018-2.
3. *Sugawara Y., Sano Y., Suehira N., Morita S.* Atom manipulation and image artifact on Si(111)7×7 surface using a low temperature noncontact atomic force microscope // *Applied Surface Science*. — 2002. — Vol. 188, No. 3–4. — P. 273–277.
4. *Tang J., Li Z., Ju B.-F., Chen Y.-L.* AFM tip-based fabrication of silicon nanostructures with reduced subsurface amorphous layers // *Precision Engineering*. — 2024. — Vol. 88. — P. 1040–1050. — DOI 10.1016/j.precisioneng.2024.05.022.
5. *West P., Starostina N.* A Guide to AFM Image Artifacts // *Microscopy Today*. — 2003. — Vol. 11, No. 3. — P. 20–27. — DOI 10.1017/S1551929500052639.
6. *Li Y., Zhang L. C., He Y.* Wear of monocrystalline silicon AFM tips under extremely high frequency tapping // *Wear*. — 2025. — Vol. 562-563. — Art. No. 205809. — DOI 10.1016/j.wear.2025.205809.