

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ В ПРОФИЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Л. Н. Оболенская
ГБОУ «Школа № 2065 г. Москвы»
urraa_2@mail.ru

Естественно-научное образование без естествоиспытания мертво. Точнее, тоскливо и, в современном мире, почти бесполезно для учащихся. Именно поэтому необходимость НИР напрямую детерминирована многими фрагментами ФГОС [5, 3]. Однако организовать выполнение учащимися реально грамотных проектов, способствующих приобретению ими логически взаимосвязанных «знаний-умений-навыков» очень тяжело. Либо проект выполним – и слишком далёк по уровню от современных мировых стандартов. Либо он «встроен» во «взрослый» проект в вузе или академическом институте и выполняется на высоком научно-техническом уровне – но в этом случае, очень часто понимание учащегося оказывается поверхностным, т. е. не выполняется главное требование – «учащийся обязан иметь понятие о принципах, лежащих в основе всех используемых в работе методов, а также об интерпретации полученных результатов» [1]. Также стоит отметить, что в большей степени адаптирует детей ко «грамотной научной работе», конечно, исследование, а не проект. Но дизайн исследования, «осознаваемого» школьником и приносящего в ближайшей перспективе реальную пользу природе и/или людям, под силу немногим. Реалистичнее оказывается практико-ориентированный проект с «сильной» исследовательской частью для установления надёжных корреляций «синтез–структура–свойства» и последующего поиска инструментов направленного синтеза, например, наноматериалов с заданными свойствами.

И в реализации этого исследовательского компонента, особенно с учётом «ковидных» реалий, крайне помогает техническое оснащение школ в рамках проектов предпрофессионального образования. За последние 5 лет самый яркий пример – это сканирующий зондовый микроскоп PHYWE Compact (СЗМ).

СЗМ – инструмент прямой визуализации нанообъектов [2]. Это один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением. За последние 10 лет СЗМ превратился в широко распространённый и успешно применяемый инструмент для исследования свойств поверхности. Изучение микрорельефа поверхности и её локальных свойств проводится с помощью кантилевера – консоли с зондом. Один конец кантилевера жёстко закреплён на кремниевом основании – держателе. На другом конце консоли располагается собственно зонд в виде острой иглы. Рабочая часть таких зондов (остриё) имеет размеры порядка десяти нанометров. Характерное расстояние между зондом и поверхностью образцов в зондовых микроскопах по порядку величин составляет 0,1–10 нм. Именно в таком диапазоне находится т. н. «равновесное» расстояние, при котором уже максимально ощутимо наведение, ориентирование и притяжение диполей из атомов зонда и сканируемой поверхности, но ещё не проявляется отталкивание электронных оболочек. Вертикальные (т. е. по оси Z) перемещения зонда в этом случае очень точно передают рельеф поверхности, а малейшее изменение в силе взаимодействия между зондом и образцом приводит к изгибу консоли, и, значит, к изменению угла падения на консоль лазерного луча. Тогда изменяется и угол его отражения, что фиксируется фотодиодом. Так при «контактном способе сканирования» и происходит накопление массива данных для воссоздания рельефа поверхности образца.

Из двух режимов – «постоянной высоты» (зонда над образцом) и «постоянной силы» (взаимодействия зонда с образцом) как правило более удачен, в том числе с точки зрения безопасности для зонда, второй. В этом случае система обратной связи поддерживает значение параметра F – силы взаимодействия зонда с образцом по оси Z – постоянным, равным величине F_0 , задаваемой исследователем. Если расстояние зонд – поверхность изменяется (например, увеличивается), то происходит изменение (увеличение) параметра F . В системе ОС формируется разностный сигнал, пропорциональный величине $\Delta F = F - F_0$, который усиливается до нужной величины и подаётся на исполнительный элемент. Последний отрабатывает данный разностный сигнал, приближая зонд к поверхности или отодвигая его до тех пор, пока разностный сигнал не станет равным нулю. Таким образом можно поддерживать расстояние зонд-

образец с высокой точностью. При перемещении зонда вдоль поверхности образца происходит изменение параметра взаимодействия F , обусловленное рельефом поверхности. Система ОС отрабатывает эти изменения, так что при перемещении зонда в плоскости ХУ сигнал на исполнительном элементе оказывается пропорциональным рельефу поверхности.

Объяснения кажутся сложными. Но, как было установлено за 2 года, рано или поздно, с большим или меньшим разнообразием аллегорий, добиться понимания удастся у 100 % проектантов (учащихся 9–11 инженерных, IT- и медклассов).

Опишем ряд проектов, уже осуществлённых учениками профильных классов с использованием данного прибора и успешно защищённых ими на конференциях.

Школьница из 11 класса создала серию новых индикаторов «света-температуры-времени», содержащих ярко-красные пероксокомплексы $Ti(IV)$, которые медленно и температурно зависимо обесцвечиваются при хранении на свету. Сочетая СЗМ с электронной спектроскопией поглощения, мы показали, что варьированием условий синтеза и управляя устойчивостью пероксокомплексов $Ti(IV)$, можно добиться того, чтобы их обесцвечивание происходило симбатно разрушению конкретного маркируемого объекта (медицинского препарата, продукта питания, косметического средства). Автор данной работы ещё до окончания школы пополнила своё портфолио публикацией в журнале «Неорганические материалы» [6].

Её одноклассник синтезировал титанопероксидный наноматериал для борьбы с биообрастанием деревянного сруба родника и охарактеризовал его с частичной помощью сотрудников ЦМИТ «Нанотехнологии» в МГУ методом сканирующей зондовой микроскопии.

Ученица 9 класса, тщательно вникнув в технику сканирования нанорельефа, установила, что при взаимодействии полиакрилатного геля (антипирена, применяемого на ООПТ и неоптимального своей вязкостью) с титановыми кислотами образуется частично наноструктурированный гель, который легко подаётся через ранцевой лесной огнетушитель, а затем, образуя пористую «нанокерамику», эффективно тушит или защищает от огня.

Другая ученица того же класса изучила с помощью двух АСМ (NTEGRA Prima и вышеупомянутый PHYWE Compact) морфологию поверхности полученных ею нанокompозитов Fe_3O_4 с алюмосиликатом и катионообменной смолой, доказав принципиальную возможность синтеза наноструктурированных катализаторов из загрязняющих природные воды соединений Fe(II,III) ; отметим, что её работа стала призёром основного федерального экологического конкурса школьных проектов и исследований ЮИОС-2020 [4].

В первый год работы над междисциплинарным проектом по созданию «химического носа» на дроне для разведки тлеющих торфяных очагов (превосходящей по эффективности тепловизионную) роль СЗМ свелась к подтверждению наличия нанорельефа у полученных для сенсорного слоя образцов SnO_2 . Однако работе текущего года сканирующая зондовая микроскопия оказалась основным методом характеристики для однофакторного сопоставления образцов SnO_2 из проб, отобранных на разных этапах осаждения α -оловянной кислоты гидратом аммиака; сейчас об этом готовится к публикации статья в журнале «Наука и жизнь».

Ученица 10 класса с помощью СЗМ установила, что высота частиц в плёнках из полученных ею зольей Ag не выходит за пределы нанодиапазона; при этом декстран, используемый в качестве восстановителя и стабилизатора, образует нанонити, параллельные в отсутствие серебра, а наночастицы Ag меняют взаимное расположение этих нитей.

Ученики 9 класса с помощью СЗМ охарактеризовали рельеф титаноксидных наночастиц, придающих термостойкость полимеру ПЭТГ, из которого они напечатали детали крепления фонарика к каске сотрудников ЭОС для облегчения их экипировки. Полученные данные оказались одним из существенных аргументов в пользу перехода от исходных наноплёнок $\text{SiO}_2\text{—TiO}_2$ к чисто титаноксидным, а главное – перехода от импортного сольвата сульфата титанила к отечественному аналогу.

Пара учащихся 10 класса с помощью СЗМ доказала наноразмерность изобретённого ими титанпероксидного состава для регенеративных патронов, способных, в силу повышенной термостойкости и взрывобезопасности данного состава, стать альтернативой 15-килограммовым дыхательным аппаратам со сжатым воздухом.

Вышеперечисленные примеры, выполненные по большей части в школьной лаборатории за последние 2–3 года показывают, что СЗМ даже на школьном уровне является мощным инструментом для практической работы и достижения образовательных целей в преподавании химии и проектной деятельности.

Список литературы

1. Колясников О. В., Морозова Н. И. Химический эксперимент в проектной деятельности. / Естественнонаучное образование: химический эксперимент в высшей и средней школе. Сер. «Методический ежегодник Химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова». – М.: МГУ, 2020. – С. 150–161.

2. Методы обработки и интерпретация изображений сканирующей зондовой микроскопии. [Электронный ресурс] URL: <http://physelec.phys.msu.ru/files/practice/Metody.pdf> (дата обращения 15.11.21).

3. Письмо Минобрнауки России от 18.08.2017 № 09-1672 «О направлении Методических рекомендаций по уточнению понятия и содержания внеурочной деятельности в рамках реализации основных общеобразовательных программ, в том числе в части проектной деятельности».

4. Тимофеева М. Тесла, завидуй! УГ - Москва, № 29 от 20 июля 2021 г. [Электронный ресурс] URL: <https://ug.ru/tesla-zaviduj/> (дата обращения 15.11.21).

5. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования. Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413 (ред. от 11.12.2020).

6. Яминский И. В., Ахметова А. И., Курьяков В. Н., Оболенская Л. Н., Котлярова Н. В. Модифицирование, оптические свойства, морфология и кинетика обесцвечивания гидрозолей титаноксидных наночастиц, содержащих пероксокомплексы Ti(IV) // Неорганические материалы, 2020, Т. 56, № 11, с. 1221–1229.