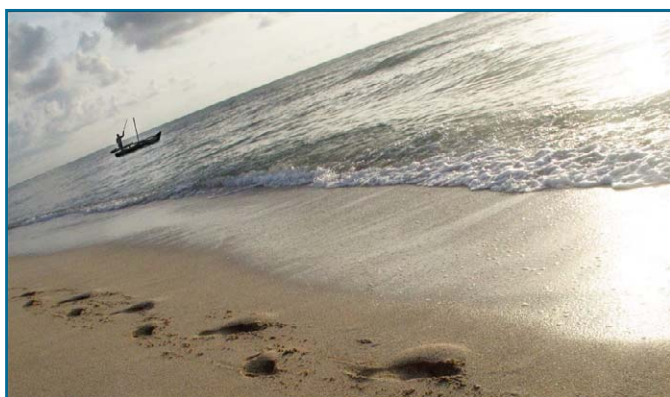


НАНОИНДЕНТЕР (Nanoindentor)

*«На белом снеге оттиск лапок
Медлительных гусиных стад».*

С.А. Есенин.

«Ноябрь»



Представьте себе такую картину. Шел человек по асфальтированной дороге, потом свернул на песчаный пляж и зашел в водоем с глинистым дном. А теперь посмотрите на отпечатки его ног. На асфальте ничего не видно, на песке остались следы в форме стопы, а на глинистом дне видны только ямки. Как вы думаете, с чем это связано? Конечно, с различной твердостью и упругостью материала поверхности, по которой он двигался. А как определить эти характеристики? В данном случае для грубой оценки можно просто измерить глубину погружения стопы в песок или глину, используя ее, таким образом, в качестве анализатора поверхности, или индентера (от англ. *to indent* – выдалбливать; *indent* – лунка, углубление). Однако для измерения твердости на микроуровне, например, твердости минералов, нужны соответствующие микроанализаторы, в исследуемый материал погружают маленькую алмазную пирамидку и исследуют образовавшийся на поверхности отпечаток под оптическим микроскопом.

Аналогичные принципы работают и на наноуровне. Еще в 1960–70-х годах в Институте

металлургии АН СССР был разработан так называемый метод наноиндентирования, согласно которому наноиндентер перемещается относительно исследуемой поверхности образца, погружаясь в нее с высокой точностью (рис. 1). При этом прилагаемое к нему усилие непрерывно регистрируется. Как правило, в качестве наноиндентера используются трехгранная (индентер Берковича) или четырехгранная алмазная пирамиды (индентер Виккерса), сделанные из самого твердого природного материала – алмаза. Такие наноиндентеры позволяют получить информацию о твердости поверхностных слоев (вплоть

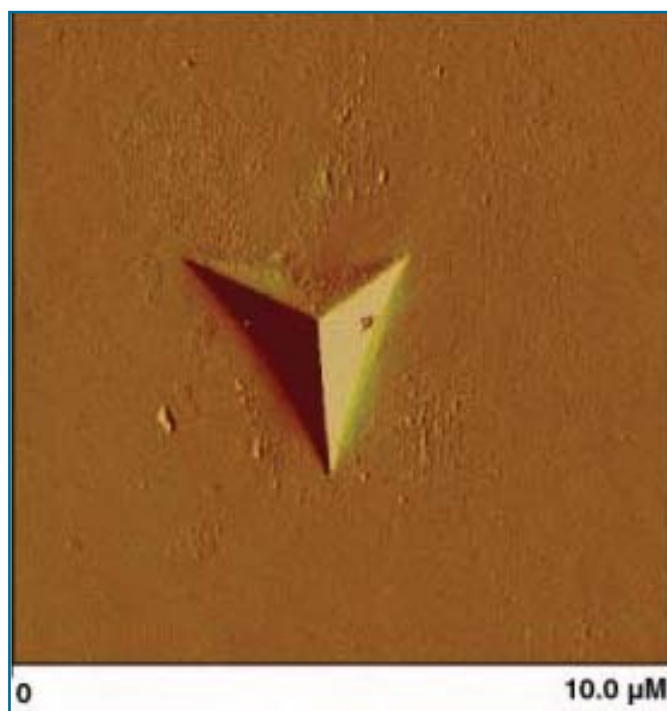


Рис. 1. Отпечаток наноиндентера Берковича на тонкой пленке GaN, нанесенной на сапфировую подложку

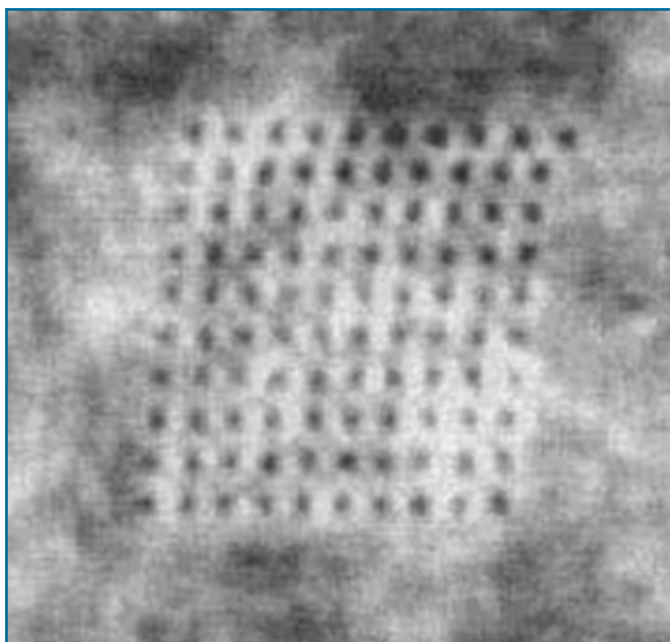


Рис. 2. Сетка с углублениями 20 нм, полученная методом наночеканки на полиметилметакрилате (до нескольких нанометров) в широком диапазоне исследуемых нагрузок (1 мН – 2 Н).

Для регистрации глубины погружения наноиндентера в исследуемый материал, т.е. для наблюдения оставленных им отпечатков на поверхности, используют высокоразрешающий метод *атомно-силовой микроскопии*. По результатам

измерений строят графики в координатах приложенная нагрузка–глубина погружения индентера, по которым можно определить твердость, пластичность, упругость и другие механические характеристики исследуемого образца. Если провести измерения сначала при нагружении, а затем при разгрузке индентера, то окажется, что полученные в этих двух режимах кривые не совпадают друг с другом из-за неэластичности исследуемых материалов.

Метод наноиндентирования широко применяется в электронике и других высокотехнологических областях для изучения механических свойств пленок, покрытий, а также поверхностных слоев. Помимо этого, специально выдавливая зондом атомно-силового микроскопа нанометровые углубления на какой-либо поверхности, можно получать микроизображения определенного рисунка (рис. 2). Такой процесс называется наночеканкой. Например, нанося на поверхность полимера высокоупорядоченные массивы нанометровых ямок, создают *устройства хранения информации* нового поколения, так называемую нанопамять.

Литература:

1. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Академия, 2005. С. 186
2. Петржик М.И., Штанский Д.В., Левашов Е.А. Современные методы оценки механических и трибологических свойств функциональных поверхностей: Материалы X Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в промышленности России». М., 2004. С. 311.