

## Обратимый электростатический «клей»

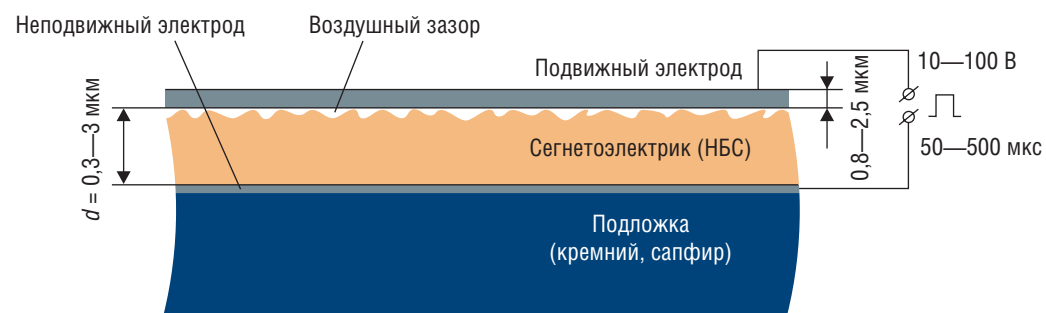
В Институте автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск) разработаны физико-технические принципы и технология высокоэффективного сцепления поверхностей с помощью электрического поля.

Вся клеевая индустрия основывается на двух физических явлениях – адгезии (от лат. adhaesio – прилипание) и когезии (cohaesus – связывание, сцепление). В основе их лежат силы межмолекулярного взаимодействия («силы Ван-дер-Ваальса»). Для обеспечения высокой адгезии клей должен обладать хорошей текучестью. Практически все известные клеи – цианоакрилатные, акриловые, силиконовые, полиуретановые, эпоксидные, отверждаемые УФ-излучением – имеют жидкую составляющую. Ее затвердевание, обеспечивающее высокую когезию, достигается во второй стадии процесса склеивания – при полимеризации, которая является достаточно длительной, до нескольких часов.

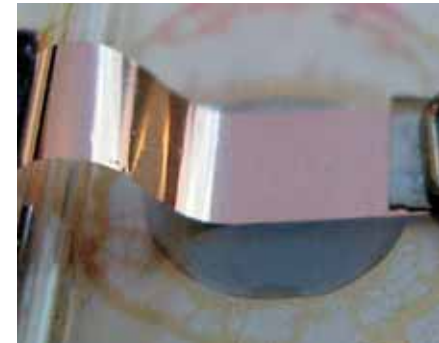
Можно ли разорвать клеевое соединение без ущерба для качества поверхности? После полной полимеризации, как правило, невозможно. Однако есть исключения – обратимые клеи. К ним относятся, например, термоклеи – полимеры, которые становятся жидкими при нагревании, а при остывании вновь отвердевают. Этот процесс полностью обратим, но обладает заметной инерционностью, и каждый раз для его осуществления требуется значительная тепловая энергия.

В ИАиЭ СО РАН разработано принципиально новое научно-техническое решение задачи сцепления поверхностей твердых тел. В лаборатории тонкопленочных сегнетоэлектрических структур создана технология обратимого быстродействующего «склеивания» поверхностей без использования жидкой среды – с помощью энергии электростатического поля. Объект исследования – новые для микроэлектроники тонкопленочные структуры: металл (полупроводник) – сегнетоэлектрик – подвижный электрод.

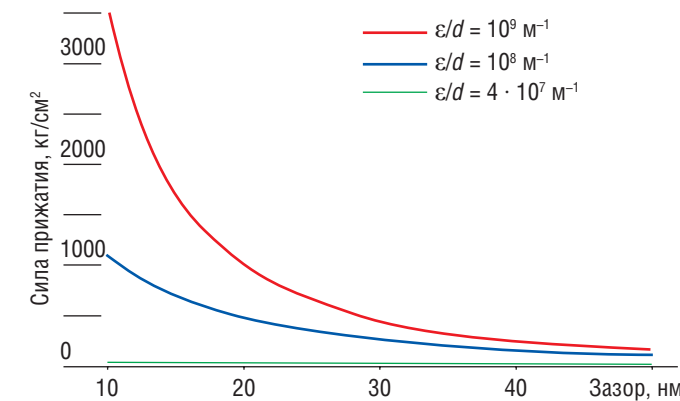
Сегнетоэлектрики, как известно, характеризуются очень большой диэлектрической проницаемостью: например, для сегнетоэлектрической пленки (СП) ниобата бария стронция (НБС) ее значение достигает 1000–5000. Эта большая величина определяет такое распределение электрического поля в структуре при подаче на нее напряжения, что основная часть потенциала оказывается приложенной к воздушному зазору между подвижным электродом и СП. С ростом напряжения зазор нелинейно уменьшается (из-за притяжения упругого тонкого электрода) – вплоть до величины 5–100 нм, определяемой шероховатостью поверхности сегнетоэлектрика. Таким образом, именно к подвижному электроду прикладывается практически вся электростатическая сила, и чем меньше зазор, тем больше сила притяжения.



Конструкция «электронного клея», разработанная в ИАиЭ СО РАН, представляет собой слоистую структуру металл (полупроводник) – сегнетоэлектрик – подвижный электрод



Эффект притяжения упругого подвижного электрода к поверхности сегнетоэлектрической пленки. Фото В. Камышлова



Теоретическая зависимость силы притяжения электрода от величины воздушного зазора при напряжении 100 В для разных  $\epsilon/d$  ( $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость,  $d$  – толщина сегнетоэлектрика). Видно, что в сильных сегнетоэлектриках (красная кривая) давление в зазоре может достигать нескольких тонн на квадратный сантиметр; в обычных диэлектриках (зеленая кривая) эффект практически отсутствует

В реально работающей структуре (сегнетоэлектрик – ниобат бария стронция, модифицированный лантаном; подложка – сапфир; подвижный электрод – бериллиевая бронза) за очень короткое время (микросекунды) с помощью напряжения 10–100 В удавалось создать механический контакт с силой притяжения поверхностей до 1000 кг/см<sup>2</sup> и более. Время выключения сцепления менее 1 мкс.

Следует подчеркнуть, что для обычных диэлектриков падение напряжения на нанометровом зазоре незначительно, и эффект отсутствует. Важным моментом является возможность приложения к нанометровому зазору больших напряжений без его пробоя (электрическая прочность используемых СП достаточно высока), а также слабое накопление в пленке заряда при действии поля и быстрая его релаксация после выключения импульса напряжения (определяемая высоким качеством кристаллической структуры СП).

Отметим, что характеристики цианоакрилата, имеющего самую высокую среди традиционных клеев прочность на разрыв, практически на порядок превосходят механические характеристики рассмотренной структуры. Однако «электронный клей», разработанный в Институте автоматики и электрометрии, обладает такими неоспоримыми преимуществами, как быстродействие и обратимость. Основная область применения эффекта – это микроэлектромеханические системы, или MEMS: микродвигатели, быстродействующие микроклапаны, микрооптика, датчики давления, микронасосы и т. п.

Д. ф.-м. н. Э. Г. Косцов  
(Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск)