

АНОМАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ПРИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ  
САПФИРА ТРЕНИЕМ

Ю.М. А г р и к о в, Е.А. О г и н с к а я

Импульсное воздействие высокоэнтальпийного газообразного теплоносителя [1] на поверхность твердого тела с целью ее эффективной очистки при атмосферном давлении в режиме теплового потока [2] сопровождается аблюцией органических покрытий и загрязнений, интенсивной термо- и фотостимулированной десорбцией, а также некоторыми другими процессами [3], связанными, в частности, с активным взаимодействием атомарных газов с поверхностью. Особенностью такого воздействия (обработки) является сохранение твердым телом своих размеров и формы, поверхностного микрорельефа, структуры и состава при резком изменении некоторых физических свойств обработанной поверхности с характерным временем релаксации  $\sim 10$  час при использовании для обработки азота, ранее установленное [4] для тонких полированных пластин кремния, сапфира и других материалов методами электронной оже-спектроскопии (ЭОС), вторичной ионной масспектроскопии, электронной микроскопии, фотоэмиссии и др.

Указанная обработка приводит, в частности, к существенным изменениям работы выхода, контактной разности потенциалов, величины краевого угла смачивания водой и адгезионной способности по отношению к наносимым покрытиям, что обычно и наблюдается при качественной очистке поверхности различными методами [5]. Однако при попытках наэлектризовать трением обработанную и, соответственно [1], в пределах чувствительности ЭОС „чистую” поверхность сапфира нами обнаружена аномальная невосприимчивость ее к трибоэлектричеству: в отличие от известного явления электризации трением [6] диэлектрическая поверхность монокристаллических сапфировых пластин [4, 5], используемых в полупроводниковой технологии, после обработки [1] с применением азота не заряжалась в течении 2–3 часов при трении ее о фильтровальную бумагу, шерсть, ткань „Полиэстер” и др. До обработки эти пластины, прошедшие типичный технологический цикл [5] полировки, очистки и сушки, легко электризуются трением или струйной обработкой [7] диэлектрической жидкостью, например, деионизованной водой с удельным сопротивлением более  $10^6$  Ом·см, а также при сушке на центрифуге.

Электрические поля, наведенные трибоэлектрическим зарядом на пластинах, регистрировались измерителем электрических полей и поверхностного заряда ЦМИЭП-3 с разрешением  $10^2$  В/м по полю ( $3 \cdot 10^{-14}$  Кл по заряду) чувствительностью  $2 \cdot 10^5$  В/м ( $2 \cdot 10^{-11}$  Кл) погрешностью  $\pm 5$  % и составляли по величине  $\sim 10^6$  В/м и выше в зависимости от степени чистоты поверхности, способа электризации, влажности и температуры воздуха. Кроме

того, практически во всех экспериментах факт электризации пластин трением надежно фиксировался и обычным электроскопом. При отжиге или контакте наэлектризованной поверхности пластин с проводящей средой, например, водопроводной водой или потоком ионизированного газа, трибоэлектрический заряд исчезал.

Как известно [8], в нормальных условиях невосприимчивость диэлектрика к трибоэлектричеству обычно появляется после так называемой обработки путем нанесения на его поверхность тонкого проводящего слоя. Согласно [1, 4], наличие какой-либо пленки проводящего материала на обработанной поверхности исследуемых пластин следует исключить. Это подтвердили измерения поверхностной проводимости по 4-зондовой методике электрометром В7-30 до и после обработки при хранении пластин на воздухе. Контакты, необходимые для этих измерений, формировались на обрабатываемой поверхности вакуумным напылением алюминия через маску. Проводимость хотя и увеличивалась при обработке на 3 порядка, но оставалась в пределах значений, характерных для диэлектриков. Зависимость ее от времени определялась условиями хранения пластин, например, влажностью воздуха, а также составом обрабатываемой газовой смеси. Характерное время релаксации проводимости составляло в среднем 10-20 час.

Наблюдаемый эффект, возможно, тесно связан с дегидроксигированием [9] поверхности сапфира при обработке [1] и, как следует из [3, 4, 9], активной адсорбцией на ней атомарного азота, сплошной адслоем которого в течение некоторого времени после обработки блокирует обычный механизм [6] электризации диэлектрика трением и замедляет процесс гидроксигирования. Соответственно этому, в течение того же промежутке времени компенсация поверхностного заряда пластин, обусловленного структурными дефектами [6], подобно явлению компенсации спонтанной поляризации пьезоэлектриков [10] происходит в обработанном сапфире не „извне“, а „изнутри“ за счет зарядов носителей тока, индуцированных в нем в момент обработки, например, УФ-излучением [4], и захваченных центрами захвата [11] вблизи поверхности. В пользу этой гипотезы говорят результаты расчетов длительности существования азотного адслоя  $t$  на очищенной по методу [1] поверхности сапфира, согласно которым, например, для степени покрытия  $S$  азотом не ниже 0.90 величина  $t \approx 14$  час, для  $S \geq 0.98$   $t \approx 3$  час. Эти расчеты выполнены на основе работ [9, 12, 13] и их результаты могут служить отправным моментом для дальнейших исследований эффекта.

## Л и т е р а т у р а

- [1] А г р и к о в Ю.М., А н т р о п о в А.М., К у л и к П.П. и др. - ФХОМ, 1987, № 5, с. 148-149.
- [2] В о л ь ф Б.Е., К о б р и н Б.В. - Микроэлектроника, 1987, т. 16, № 3, с. 264-268.
- [3] Д е м ч е н к о П.А., К р у п н и к Л.И. - ЖТФ, 1976, т. 46, № 11, с. 2339-2348.

- [4] А г р и к о в Ю.М., А н т р о п о в А.М., И в а н о в В.В. и др. В кн.: Первая всесоюзн. конф. Физические и физико-химические основы микроэлектроники. М.: АН СССР, 1978, с. 249-250.
- [5] Л у ф т Б.Д. Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников. М.: Радио и связь, 1982. 137 с.
- [6] К о r n f e l d М.І. - Journal of Physics D, 1976, v. 9, N 8, p. 1183-1192.
- [7] А н о х и н В.З., Д ы н н и к А.П., З а в а л и ш и н А.А. и др. - Электронная техника, сер. Микроэлектроника, 1986, в. 4 (120), с. 45-48.
- [8] М а р т ы н о в В.В. - Зарубежная электронная техника, 1986, в. 12, с. 3-50.
- [9] К и с е л е в В.Ф., К р ы л о в О.В. Электронные явления в адсорбции и катализе на полупроводниках и диэлектриках. М.: Наука, 1979. 234 с.
- [10] Л е в а н ю к А.П. Пирозлектрики. В кн.: Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1984. 944 с.
- [11] К р ы л о в О.В., К и с л ю к М.У., Ш у б Б.Р. и др. - Кинетика и катализ, 1972, т. 13, с. 598-609.
- [12] Н е в о л и н В.К., Ш е р м е р г о р Т.Д. - Письма в ЖТФ, 1975, т. 1, в. 15, с. 722-724.
- [13] Ж д а н о в В.П., П а в л и ч е к Я., К н о р з. - Поверхность. Физика, химия и механика, 1986, № 10, с. 41-46.

Поступило в Редакцию  
26 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 7

12 апреля 1988 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ СТЕПЕНИ  
УПОРЯДОЧЕННОСТИ СОСТОЯНИЙ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВЕ  $\mathcal{S}$ -ТЕОРЕМЫ  
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Ю.Л. К л и м о н т о в и ч

Критерий относительной степени упорядоченности состояний открытых систем на основе сравнения значений энтропии Больцмана-Гиббса-Шеннона при заданном значении средней эффективной энергии - "функции Гамильтона" ( $\mathcal{S}$ -теорема) был введен в работах [1, 2] на примерах развития генерации в системе Ван дер Поля и перехода от ламинарного к стационарному турбулентному течению. Обзор первых результатов дан в [3]. В [4] приведено общее доказательство  $\mathcal{S}$ -теоремы.

Цель настоящей работы - демонстрация возможности использования критерия, основанного на  $\mathcal{S}$ -теореме, непосредственно по