

лены статистически. При большой апертуре лепесток при любом своем направлении регистрируется, среднее значение сигнала начинает насыщаться, дисперсия уменьшается. Сигнал теряет свой случайный характер. Анализ экспериментальных данных показал, что ширина лепестка в каждой реализации не более  $0.5^\circ$ , что соответствует относительной ширине спектра заполнения домена порядка 0.1. В то же время пределы его качания  $1.5^\circ$ , определяющие усредненную (интегральную) ширину спектра заполнения, соответствуют относительной ширине спектра 0.3.

Проведенное исследование статистических свойств света, рассеянного акустоэлектрическим доменом, показало, что вопреки общепринятому мнению частотный спектр домена узок, а обычно наблюдаемый спектр есть результат усреднения по реализациям рассеянного света, т. е. по существу он представляет собой неоднородное уширение. Причины этого пока не понятны, но результат со всей определенностью указывает на необходимость существенной коррекции существующих взглядов на акустоэлектрический домен.

### Л и т е р а т у р а

- [1] М е у е р N.I., J ø r g e n s o n M.N. — Festkörperprobleme, 1970, v. 10, p. 21–124.
- [2] А р и с т о в Ю.В., Р ы с а к о в В.М. — Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 4, с. 215–219.
- [3] Р ы с а к о в В.М., А р и с т о в Ю.В. — ЖТФ, 1986, т. 56, в. 4, с. 750–752.
- [4] А р и с т о в Ю.В., Р ы с а к о в В.М. — ФТТ, 1986, т. 28, в. 8, с. 2557–2560.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
10 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

### ДИФфуЗИЯ АТОМОВ КРЕМНИЯ И ПЛАТИНЫ ПОД МОНОСЛОЙ ГРАФИТА НА ИРИДИИ

Н.Р. Г а л л ь, Е.В. Р у т ь к о в, А.Я. Т о н т е г о д е

Выделение углерода на нагреваемых элементах электровакуумных приборов — широко распространенный процесс. На поверхности нагретых металлов углерод преимущественно находится в форме графитовых островков, центральная валентно насыщенная часть которых поднята над поверхностью (на  $\approx 4\text{Å}$ ), а края опущены на металл [1–3]. Например, графитовая фаза может образовываться на поверхности нагретых эмиттеров ионов в масс-спектрометрах

и квантовых стандартах частоты. На поверхность таких эмиттеров направляют потоки частиц, которые должны ионизироваться. Эти частицы могут либо десорбироваться, либо диффундировать под слой графита, и эффективность работы этих каналов требует изучения. Подобная проблема возникает при росте полупроводниковых пленок техникой молекулярных пучков, т. к. углерод является характерной технологической примесью. С другой стороны, температурная стабильность малых металлических частиц ( $Pt, Ni \dots$ ) на углеродных носителях интересна для гетерогенного катализа. И наконец, изучение диффузии атомов кремния и платины под поднятый над металлами слой графита может пролить свет на механизм интеркалирования слоистых соединений.

## Экспериментальная часть

Опыты проводили в сверхвысоковакуумном оже-спектрометре высокого разрешения на текстурированных лентах из иридия с гранью (111) на поверхности [2, 3]. Монослой графита на иридии образовывали путем высокотемпературной ( $T=1700 \text{ K}$ ) адсорбции бензола. Кремний и платину напыляли путем сублимации с нагретых лент.

### 1. Диффузия атомов кремния под монослой графита на иридии

При адсорбции  $Si$  на монослой графита на иридии ( $Jr-C$ ) при  $300 \text{ K}$  на поверхности растет толстая пленка кремния, уменьшая оже-пики углерода и иридия до фона. С увеличением температуры характер роста пленки кремния существенно изменяется. Рис. 1 показывает, как изменяются интенсивности оже-пика углерода, кремния и иридия при адсорбции  $Si$  на  $Jr-C$  при  $1000 \text{ K}$ . Рост оже-пика кремния показывает, что кремний накапливается в приповерхностной области, а неизменность оже-пика углерода, что кремний накапливается под слоем графита. Через  $t \sim 120 \text{ }^\circ\text{C}$  напыления оже-пики кремния и иридия перестают изменяться; следовательно, перестает изменяться состав приповерхностной области толщиной  $\approx (10-15) \text{ \AA}$ , которую чувствует метод ЭОС. Специальные опыты по адсорбции кремния на чистом иридии показали, что в области  $800 \leq T \leq 1400 \text{ K}$  до концентрации  $N_{Si} \sim 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$  весь кремний накапливается на поверхности в виде поверхностного химического соединения — приповерхностного силицида. После его заполнения новые порции кремния, поступающие на поверхность, диффундируют в объем иридия и образуют в его приповерхностной области объемный силицид (подобную ситуацию наблюдали в системе  $W(100) - Si$  [4]). Интересно, что зависимость интенсивности оже-пика кремния  $I_{Si}$  от времени напыления одним и тем же потоком кремния на иридий и иридий, покрытый монослой графита, при  $1000 \text{ K}$  практически совпали (с учетом ослабления оже-пика кремния монослой графита). Это означает, что при  $1000 \text{ K}$  весь кремний, падающий на монослой графита, диффундирует под графит-

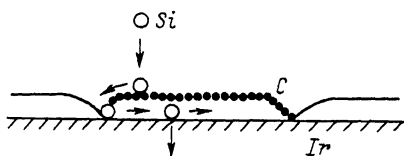
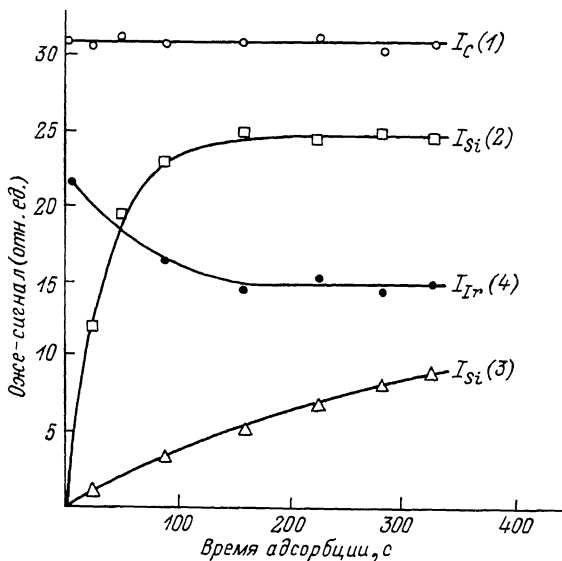
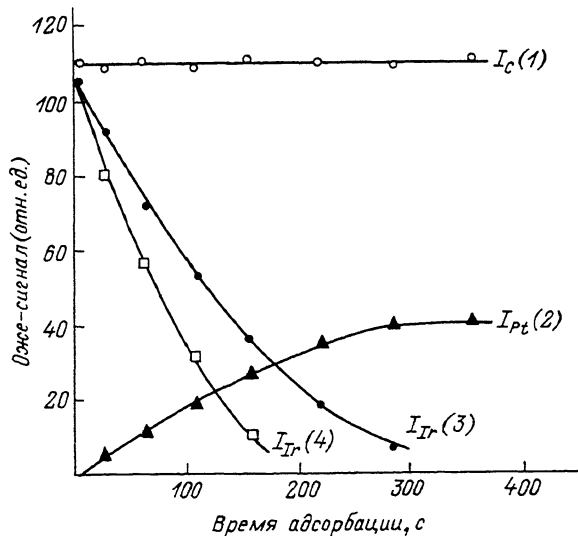


Рис. 1. Зависимость интенсивностей оже-пиков углерода  $I_C$  (1), кремния  $I_{Si}$  (2) и иридия  $I_{Ir}$  (4) от времени напыления кремния на монослой графита на иридии, нагретом до 1000 К, и оже-пика кремния  $I_{Si}$  (3) при напылении кремния на  $Ir-C$ , нагретый до 1500 К.

товый слой, образуя сначала поверхностный, а затем и объемный силицид. Как удается атомам кремния столь эффективно проникать под монослой графита? Разумно полагать, что атомы кремния диффундируют под слой графита через его дефекты, концентрация которых не должна быть малой. На наш взгляд, в качестве таких дефектов могут выступать дырки атомного размера в месте контакта края графитового островка с несогласованной с ним гранью (111) иридия. При адсорбции кремния на  $Ir-C$  при более высоких  $T \approx 1300$  К под слой графита уходит лишь часть атомов кремния, а остальные атомы десорбируются.



$t=0$

$t=300c$

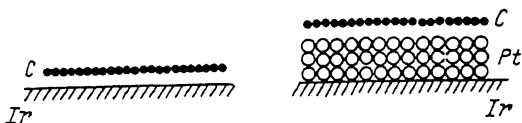


Рис. 2. Зависимость интенсивностей оже-пиков углерода  $I_C$  (1), платины  $I_{Pt}$  (2) и иридия от времени напыления платины на монослой графита на иридии, нагретом до 1200 К,  $I_{Ir}$  (3) и до 300 К,  $I_{Ir}$  (4).

## 2. Д и ф ф у з и я а т о м о в п л а т и н ы п о д м о н о с л о я г р а ф и т а н а и р и д и и

При адсорбции  $Pt$  на  $Ir-C$  при 300 К на поверхности монослоя графита растет толстая пленка платины. При высокотемпературной адсорбции платины на  $Ir-C$  у атомов платины имеются два стока: термодесорбция и диффузия под слой графита. Рис. 2 показывает, как изменяются оже-пики углерода, платины и иридия при адсорбции  $Pt$  на  $Ir-C$  при 1200 К. Рост оже-пика платины и неизменность оже-пика углерода показывает, что  $Pt$  диффундирует под монослой графита и там накапливается (в нашем примере в количестве  $\sim 3$  монослоев, по ослаблению  $I_{Ir}$ ). Если платину напылять на поверхность монослоя графита на иридии при 300 К, то растет более толстая пленка, чем при ее напылении на монослой графита при 1200 К (о чем судили по более сильному ослаблению оже-пика иридия - см. рис. 2). Следовательно, при напылении  $Pt$  на  $Ir-C$  при 1200 К часть  $Pt$  десорбируется, а оставшаяся зна-

чительная часть диффундирует под слой графита. Таким образом, при повышенных  $T \approx 1000$  К под монослой графита эффективно диффундируют не только атомы кремния, но и атомы платины, видимо проникая под слой через дефекты графитового слоя в месте контакта края графитового островка с поверхностью металла. Пленка платины, образованная при диффузии атомов  $Pt$  под слой графита, смещает слой графита от поверхности иридия. Зондирование этой системы с помощью адсорбции  $CS$  показало, что монослой графита поднят над поверхностью платиновой пленки: атомы цезия накапливались в полости между слоем графита и платиной (аналогично накоплению атомов  $K$  и  $CS$  под слоем графита при их адсорбции на иридии, покрытом монослоем графита [1-3]).

Ранее было обнаружено, что при адсорбции платины при  $T < 800$  К на монослой графита образуются плотноупакованные платиновые островки, которые растворяются при подъеме  $T$  до 1200 К. Здесь выясняется каким из каналов (термодесорбцией или диффузией под слой графита) уходила платина из островков. Для этого при 300 К на монослой графита на иридии напыляли ~ монослой платины ( $N_{Pt} \sim 1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>), который ослабил оже-пик углерода ( $E=272$  эВ) в ~1.5 раза, а оже-пик иридия ( $E=54$  эВ) в ~3 раза. После этого температуру образца повышали ступенями, прогревая его в каждой температурной точке 30 с, и записывали оже-пики углерода, платины и иридия. Оказалось, что при подъеме  $T$  до 1500 К оже пик иридия не изменился, а оже-пик углерода вырос в 1.5 раза до величины, характерной для чистого монослоя графита. Анализ изменений оже-пиков показывает, что при подъеме  $T$  до 1500 К вся платина диффундирует с поверхности графитового слоя под слой. Это означает, что атомы платины, оторвавшись от края своего островка, эффективно диффундируют под слой, а канал десорбции мало эффективен. Можно предполагать, что платиновые островки зарождаются на дефектах графитового слоя, расположенных на краях графитовых островков, а затем заполняют центральную часть графитового островка.

Отметим, что при высокотемпературной адсорбции бензола на платиновой пленке на поверхности иридия образуется монослой графита, поднятый над поверхностью этой пленки. Та же ситуация наблюдается в случае высокотемпературной адсорбции бензола на поверхностном силициде иридия. Это говорит о том, что процесс графитизации на плоской поверхности подложки идет с высокой эффективностью и мало зависит от материала этой подложки и ее природы.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Рутыков Е.В., Тонтегоде А.Я. – Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, в. 18, с. 1122-1124.
- [2] Рутыков Е.В., Тонтегоде А.Я. – ЖТФ, 1982, т. 52, в. 5, с. 921-928.

[3] Kholin N.A., Rut'kov E.V., Tontegode A.Y. - Surf. Sci., 1984, v. 139, N 1, p. 155-172.

[4] Агеев В.Н., Афанасьева Е.Ю., Галль Н.Р., Михайлов С.Н., Рут'ков Е.В., Тонтегоде А.Я. - Поверхность, 1987, № 5, с. 7-14.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
31 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 6

26 марта 1988 г.

## ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ МОЛЕКУЛ НА ПОВЕРХНОСТИ В ПОЛЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Н. Орлов

Исследования физической сорбции резонансных молекул в лазерном поле выявили ряд эффектов [1-3], объясняемых изменением адсорбционного потенциала этих молекул. Кроме того, выявилось, что целый ряд молекул на поверхности сохраняют свою спектроскопическую индивидуальность. Выражения для изменений адсорбционного потенциала резонансных молекул в лазерном поле были приведены в [1, 4, 5]. Однако в этих работах (для получения заведомо заниженных оценок) делались довольно сильные предположения: взаимодействие между молекулами, обусловленное присутствием резонансного кванта, было меньше взаимодействия между молекулой и полем, а добавка к взаимодействию пробной молекулы с такими же молекулами, уже осевшими на поверхность, вычислялась суммированием попарного взаимодействия поляризованных резонансным электромагнитным полем частиц.

Рассмотрение полного гамильтониана для кластера из нескольких одинаковых молекул на поверхности или в газовой фазе при наличии колебательного или электронного кванта возбуждения на одной из них было произведено в [6], где предполагалось, что взаимодействие между молекулами, обусловленное присутствием резонансного кванта, больше величины взаимодействия между молекулой и лазерным полем. Дебройлевские длины волн молекул кластера были существенно меньше их размеров. Молекулы моделировались двухуровневыми системами. Конкретный вид зависимости вероятности нахождения кванта возбуждения в кластере от интенсивности лазерного поля в [6] не производился. Вычисления добавок к адсорбционному потенциалу в [6] были проведены для большого времени когерентности лазерного излучения  $T_k \tau_k \ll \delta^2$ , где  $\delta^2$  - поперечная ширина линии резонансного перехода [7]. Углубление или обмеление адсорбционных потенциалов молекул с необходимостью