

Эффективность интеркалирования атомов алюминия под монослойную и субмонослойную двумерную графитовую пленку на металле

© Н.Р. Галль[¶], Е.В. Рутьков, А.Я. Тонтегоде

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 21 мая 2001 г. Принята к печати 28 мая 2001 г.)

С помощью оже-спектроскопии высокого разрешения с регистрацией спектров непосредственно с сильно нагретого образца (до 2100 К) изучено интеркалирование атомов алюминия под двумерную графитовую пленку на металле. Показано, что эффективность этого процесса существенно возрастает, если пленка носит не сплошной, а островковый характер и часть поверхности металла свободна от графита. Сделан вывод, что именно края графитовых островков являются теми дефектами, через которые интеркалирующие атомы проникают под графитовую пленку.

1. Введение

Интеркалирование, т. е. спонтанное проникновение, адсорбированных частиц под двумерные графитовые пленки (ДГП) на металлах было открыто нами в 1981 г. [1] и подробно описано в обзорах [2,3] и монографии [4]. ДГП на металлах — замечательные объекты, резко отличающиеся по своим свойствам от других форм адсорбированного углерода. ДГП наблюдались на поверхности многих металлов (Ir, Re, Pt, Ni, Rt, Mo); такую пленку можно представить себе как единичный графитовый слой из сильно связанных между собой атомов углерода ("графитовый ковер"), помещенный на поверхность металла и сохранивший свою индивидуальность и строение, что подтверждается измерениями методами сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии (STM и AFM) [5,6]. Как и слои в графитовом кристалле, ДГП связана с поверхностью лишь слабыми силами Ван-дер-Ваальса, без электронного обмена [1–9].

Закономерности интеркалирования ДГП практически не зависят от подложки, но существенно зависят от природы интеркалирующей частицы. Для количественного описания процесса нами введена "эффективность интеркалирования", понимаемая как доля частиц, проникших под пленку, по отношению ко всем адсорбированным частицам. Атомы с малыми потенциалами ионизации (Cs, K, Na) интеркалируют под пленку при температурах $T \approx 300$ К с эффективностью, близкой к 0.5, и накапливаются там лишь до монослойной концентрации. С ростом T эффективность процесса резко понижается и при $T > 800$ К интеркалирование наблюдать не удается. Напротив, атомы с большими ионизационными потенциалами (Pt, Ni, Si, Au) интеркалируют лишь при $T \geq 1000$ К с эффективностью, близкой к единице, и строят под графитом многослойные пленки. С ростом T эффективность интеркалирования также резко

падает, и при 1500 К она не превышает нескольких процентов.

Цель настоящей работы — изучить интеркалирование ДГП атомами с промежуточным значением ионизационного потенциала $V_i \approx 6$ эВ. Мы выбрали атомы алюминия с $V_i = 5.94$ эВ, а в качестве подложек два металла — иридий и рений, различающиеся по механизмам образования ДГП на поверхности.

2. Методы эксперимента

Опыты проводились в сверхвысоком вакууме (СВВ) при остаточном давлении $P < 10^{-10}$ Торр в электронном оже-спектрометре высокого разрешения с призмным энергоанализатором [10]. В качестве образцов применялись прямонакальные рениевые и иридиевые ленты размером $50 \times 1 \times 0.02$ мм³ соответственно с гранью (10 $\bar{1}0$) и (111) на поверхности. Имелась возможность записывать оже-спектры непосредственно от нагретого образца вплоть до $T \approx 2100$ К.

Ленты очищались и текстурировались прогревом переменным током сначала в кислороде при $T = 1500$ К, а потом в СВВ при $T = 2300$ К. После очистки никаких оже-пиков кроме пиков соответствующего металла в спектре не наблюдалось, работа выхода для лент составляла 5.15 и 5.75 эВ — величины, типичные для указанных граней. Поверхность лент была однородна по работе выхода. Температуру образцов измеряли микропирометром, а в непирометрической области определяли линейной экстраполяцией зависимости температуры от тока накала.

Алюминий напылялся с разработанного нами геттерного источника однородно на всю рабочую поверхность лент. Принцип действия источника состоял в предварительном растворении в иридиевой или платиновой ленте навески алюминия массой, составляющей 5–10% от массы ленты, и последующей термодесорбции атомов Al, сегрегирующих на поверхности.

[¶] E-mail: gall@ms.ioffe.rssi.ru
Факс: (812) 2471017

3. Получение и характеристика двумерной графитовой пленки на поверхности (111) Ir и (10 $\bar{1}$ 0) Re

Двумерная графитовая пленка на поверхности иридия создавалась адсорбцией молекул бензола по методике, описанной в [3]. Молекулы бензола, поступающие на поверхность металлического образца, при $T = 1500\text{--}1800\text{ K}$ разлагаются, водород десорбируется, а углерод остается в адсорбционном слое. В объеме иридия атомы С не растворяются и строят на поверхности двумерные графитовые островки, которые при слиянии дают сплошную графитовую пленку строго монослойной толщины. Двумерность пленки обеспечивается автоматически, так как на пассивном графитовом слое молекулы C_6H_6 не распадаются, и поступление углерода в адсорбционный слой прекращается. В случае рения образованию ДГП предшествует насыщение ленты углеродом до предельной растворимости. После насыщения углеродом пары бензола откачивают, и все дальнейшие измерения проводят в СВВ.

Как показано в [2], физико-химические свойства ДГП практически не зависят от подложки, и выбор иридия или рения связан лишь с удобством эксперимента. На иридии ДГП стабильна при любых изменениях температуры при $T < 1900\text{ K}$, в то время как на рении ее термостабильность ограничена 1200 K — при больших T возможна диффузия углерода из объема, приводящая к росту многослойной пленки графита. Однако этот недостаток оборачивается преимуществом, так как именно на рении можно легко и воспроизводимо выращивать субмонослойную ДГП с наперед заданной долей площади поверхности s , покрытой графитовыми островками, как описано нами в [10].

4. Взаимодействие алюминия с поверхностью рения и иридия

Взаимодействие алюминия с поверхностью (10 $\bar{1}$ 0) рения подробно изучено нами, а также описано в работе [11]. Напыление атомов Al на рений при $1100\text{--}1300\text{ K}$ приводит к образованию поверхностного алюминида (ПА) состава AlRe с концентрацией атомов алюминия $N_{Al} \approx 1.8 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-2}$, причем вплоть до образования ПА все атомы алюминия, попавшие на поверхность, остаются на ней, а после завершения его образования все вновь поступившие атомы растворяются в объеме металла. При более высоких температурах ПА разрушается термодесорбцией, и при $T > 1550\text{ K}$ поверхность свободна от адсорбированного алюминия.

Абсолютную концентрацию атомов Al в ПА определяли путем сравнения наших данных с данными работы [11], где абсолютная калибровка поверхностного алюминида была произведена методом дифракции медленных электронов. Используя 100%-е прилипание атомов Al к поверхности металла при комнатной температуре,

мы определяли абсолютную величину плотности потока атомов Al. Эксперимент показал, что использованный источник позволял получать стабильные по плотности потоки в интервале $10^{11}\text{--}10^{14}\text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Адсорбция Al на поверхности (111) иридия в широкой области температур также подробно изучена нами. На иридии, как и на рении, образуется ПА, но другого состава — Ir_5Al с концентрацией алюминия $N_{Al} \approx 3.5 \cdot 10^{14}\text{ см}^{-2}$ (эталонным покрытием служил ПА на рении). Удаление атомов Al с поверхности иридия протекает при $T = 1500\text{--}1600\text{ K}$, по-видимому, также через термодесорбцию.

Полученные данные позволяют связать амплитуды оже-пика алюминия и его абсолютные количества в адсорбционном слое, по крайней мере до тех пор, пока все адсорбированные атомы алюминия находятся в пределах одного монослоя. Подобный режим роста действительно имеет место при высокотемпературном ($T > 1000\text{ K}$) напылении алюминия на металлы, но не на графитовую пленку.

5. Интеркалирование алюминия под двумерную графитовую пленку на металлах

Напыление алюминия на ДГП на иридии или рении при комнатной температуре приводит к росту трехмерных островков алюминия поверх графита, в согласии с данными [12]. При этом заметного интеркалирования алюминия под пленку не наблюдается — об этом свидетельствует одинаковая степень уменьшения интенсивности оже-сигналов углерода и подложки растущей пленкой адсорбата.

Результаты отжига трехмерных островков алюминия ($N_{Al} \approx 2 \cdot 10^{15}\text{ см}^{-2}$) на ДГП на иридии представлены на рис. 1, *a*. Видно, что вплоть до $T \approx 700\text{ K}$ система остается практически неизменной. При больших температурах оже-сигнал алюминия начинает уменьшаться, углерода — расти, а сигнал от подложки (иридия) сначала остается неизменным, но потом также несколько увеличивается. При $T > 1200\text{ K}$ все три оже-сигнала выходят на полку и остаются неизменными до 1500 K . При больших температурах сигнал алюминия падает до нуля, иридия — возрастает почти в 2 раза, а углерода остается неизменным.

Объяснение наблюдаемым изменениям оже-сигналов представлено на рис. 1, *b*. При $T = 700\text{ K}$ начинается, а при 1200 K заканчивается перестройка адсорбционного слоя, при которой трехмерные островки алюминия, расположенные поверх графитового слоя, растворяются, при этом освободившиеся атомы Al частично испаряются, а частично интеркалируют под ДГП. При $T > 1200\text{ K}$ алюминия на внешней поверхности ДГП нет, и оже-сигнал углерода имеет ту же интенсивность, что была до начала напыления алюминия. Оже-сигнал подложки, напротив, существенно уменьшен за счет экрани-

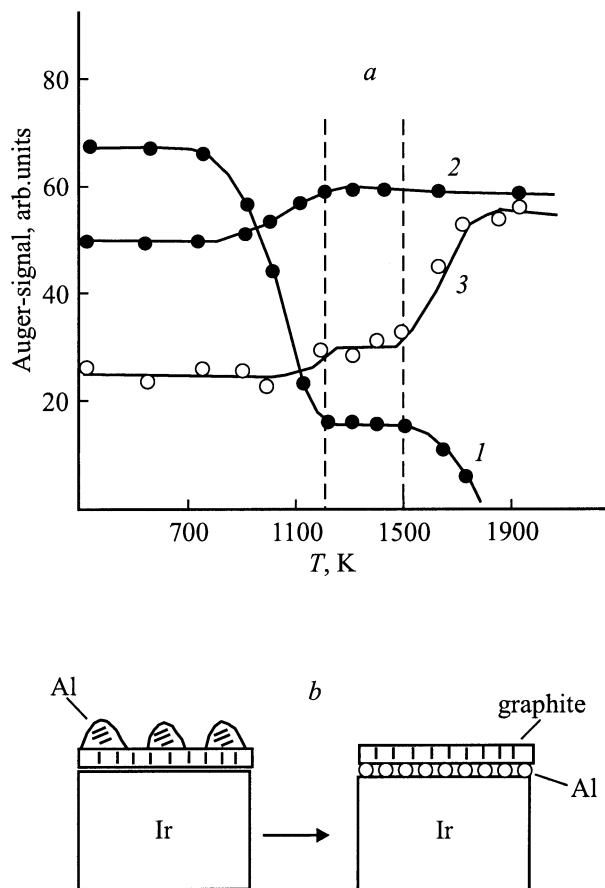


Рис. 1. *a* — измерение оже-сигналов алюминия (1), углерода (2) и иридия (3) при ступенчатом, через 100 К, отжиге пленки Al, напыленной на ДГП на (111) Ir при 300 К; начальная поверхностная концентрация алюминия $\sim 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, время ожидания в каждой точке 15 с. *b* — схема трансформации адсорбционного слоя при отжиге: от трехмерных островков алюминия, адсорбированных на ДГП, к слою атомов Al, интеркалированных под графитовой пленкой.

ровки как графитовым слоем, так и интеркалированным алюминием — его интенсивность почти в 2 раза меньше начальной (до напыления Al) величины (использовался оже-сигнал иридия с энергией $E = 54 \text{ эВ}$).

При дальнейшем нагреве ($T > 1500 \text{ К}$) алюминий покидает адсорбционный слой, по-видимому, вследствие термодесорбции, а возможно, и частичного растворения в объеме подложки; его оже-пик падает до нуля. При этом оже-сигнал иридия возрастает до своего начального значения, а оже-сигнал углерода как был, так и остается неизменным (рис. 1, *a*).

Для определения абсолютного количества алюминия, интеркалированного под пленку, необходимо знать истинную интенсивность оже-сигнала алюминия, которую он имел бы без экранирующего влияния ДГП. Для определения этой величины надо измерить δ — степень уменьшения оже-пика алюминия монослоем графита. Величина δ зависит в первую очередь от энергии оже-

перехода и была определена нами ранее для оже-пика никеля [13], имеющего энергию оже-перехода, близкую к энергии оже-перехода в алюминии, — она составила $\delta = 2.5 \pm 0.2$. Это позволяет восстановить "истинное" значение оже-сигнала алюминия под ДГП, а сравнивая его с эталонным (ПА на рении), мы получили, что под графитовым слоем образуется поверхностный алюминид Ir_3Al с концентрацией адсорбата $N_{\text{Al}} \approx 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, т. е. несколько более богатый алюминием по сравнению с образующимся на открытой поверхности. Это не удивительно, так как ДГП препятствует десорбции адатомов из интеркалированного состояния.

Прямое напыление алюминия на ДГП при $T > 950 \text{ К}$ ведет к тому, что алюминий перестает накапливаться поверх графитового слоя, однако интеркалирует под него. Об этом свидетельствует неизменность оже-сигнала углерода, тогда как оже-сигнал алюминия растет, а иридия, хотя и не значительно, но падает. Это означает, что попадающий в адсорбционный слой алюминий не накапливается поверх графитового слоя и, соответственно, не уменьшает его оже-сигнал, но накапливается между графитовой пленкой и поверхностью металла.

Используя эти данные, мы определили эффективность интеркалирования алюминия под ДГП на поверхности (111) иридия, т. е. долю частиц, проникающих под пленку по отношению к полному количеству падающих на поверхность атомов. Соответствующие экспериментальные данные представлены на рис. 2, где показано изменение оже-сигнала подложки I_{Ir} , нормированного на его начальную величину I_{Ir}^0 , при напылении атомов алюминия на чистый иридий и на ДГП на Ir при разных температурах. Уменьшение оже-сигнала связано с экранировкой

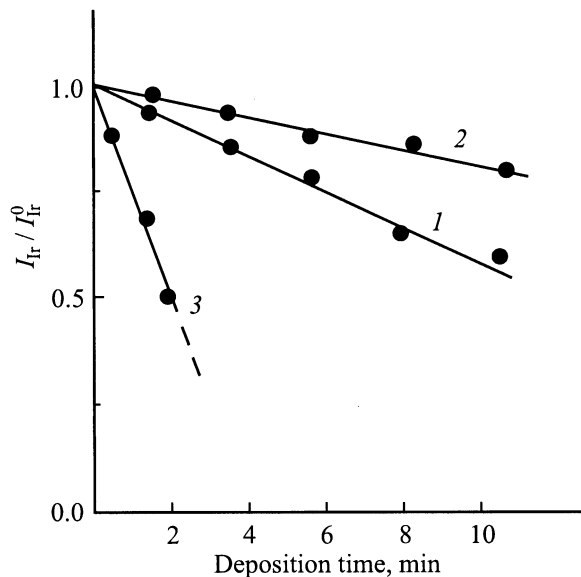


Рис. 2. Изменение степени ослабления оже-сигнала иридия при напылении атомов Al на ДГП на (111) Ir при 1000 (1), 1100 К (2) и напылении атомов Al на чистую поверхность (111) Ir при 1000 К (3). Плотность потока атомов алюминия $\nu_{\text{Al}} = 1.6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

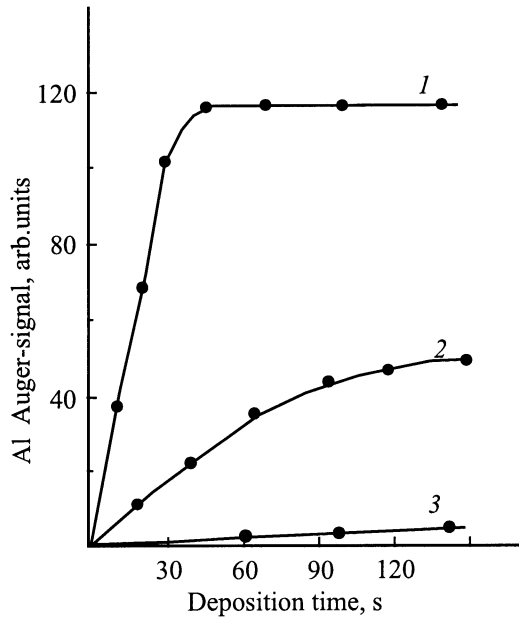


Рис. 3. Изменение оже-сигнала алюминия при напылении атомов Al на ДГП на $(10\bar{1}0)$ Re при 1100 К. Доля поверхности металла, покрытой графитовым слоем s , %: 1 — 0, 2 — 90, 3 — 100 (сплошная монослойная пленка). Плотность потока атомов алюминия $\nu_{Al} = 3.6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

подложки атомами алюминия, накапливающимися в адсорбционном слое. Оценки показали, что эффективность интеркалирования составила $\sim 14\%$ при 1000 К и уменьшилась до 7% при 1100 К. Те же значения получаются и при использовании в качестве подложки рения, что подтверждает сделанный ранее вывод о практической независимости свойств ДГП от природы металла, на котором она образована. Предельное количество алюминия, накапливающегося в интеркалированном состоянии на поверхности рения, также соответствует поверхностному алюминиду ReAl .

Малая эффективность интеркалирования, по-видимому, связана с десорбцией большей части алюминия, поступающего на поверхность графитовой пленки. Представлялось интересным изучить, изменится ли эффективность интеркалирования алюминия, если ДГП покрывает не всю поверхность металла. Для этого на рениевом образце последовательно выращивали графитовую пленку, покрывающую долю поверхности металла $s = 40, 70$ и 90% , и изучали процесс интеркалирования. Долю поверхности подложки, покрытую графитом, считали пропорциональной интенсивности оже-сигнала углерода графитовой пленки.

Изменение оже-сигнала алюминия при напылении атомов Al одним и тем же потоком на ДГП на поверхности $(10\bar{1}0)$ Re при 1100 К при разной доле поверхности металла, занятой графитовым слоем, s представлено на рис. 3. Для всех кривых оже-сигнал углерода остается неизменным в течение всего опыта. Конечной стадией

каждого напыления является образование ПА как на свободных от графита участках подложки, так и на участках с ДГП в интеркалированном состоянии, после чего интенсивность оже-сигнала Al перестает изменяться. Различия в интенсивностях оже-сигналов алюминия в конечных стадиях определяется тем, что каждый раз разная часть алюминия оказывается адсорбированной на свободной поверхности и под ДГП, где его оже-сигнал существенно уменьшен вследствие экранирующего влияния графитового слоя. Обращает на себя внимание тот факт, что даже незначительный рост "степени несплошности" пленки приводит к резкому увеличению скорости роста оже-сигнала алюминия. Это означает, что резко увеличивается число атомов Al, оставшихся в адсорбционном слое, и в частности, интеркалированных под ДГП.

6. Обсуждение результатов

Обсудим результаты, представленные на рис. 3. Сравнивая кривые 2 и 3, отражающие интеркалирование алюминия под сплошной монослой и под пленку, покрывающую 90% поверхности, видим, что переход к субмонослойной пленке резко увеличивает долю атомов алюминия, оставшихся в адсорбционном слое в интеркалированном состоянии. Субмонослойная графитовая пленка состоит из островков, и, по-видимому, именно появление большого числа краев островков увеличивает сток атомов под слой и ведет к росту эффективности интеркалирования.

Схема адсорбционного слоя, содержащего участки, как покрытые ДГП, так и свободные от нее, представлена на рис. 4. Атом алюминия, попадающий в центральные области островка (позиция A), не успевает промигрировать к его краю, десорбируется и регистрируется методом электронной оже-спектроскопии. Наоборот, атом, адсорбированный ближе к краю (позиция B), мигрирует по поверхности и интеркалирует под графитовый островок.

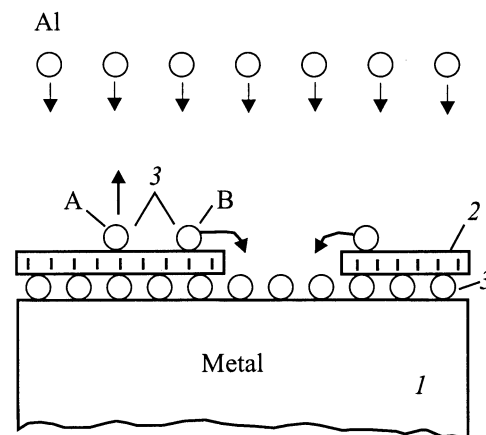


Рис. 4. Схема адсорбционного слоя на Ir- или Re-подложке (1), содержащей участки, как покрытые ДГП (2), так и свободные от нее. 3 — атомы алюминия, адсорбированные на свободной поверхности и интеркалированные под графитовым слоем.

Попробуем оценить эффективность интеркалирования для субмонослойной пленки. Для этого прежде всего разберемся, какая количественная информация скрывается за представленными на этом рисунке амплитудами оже-сигналов алюминия. Введем обозначения: s — доля поверхности, покрытая ДГП; ν — плотность потока атомов алюминия, падающих на поверхность; t — время; N — поверхностная концентрация алюминия, соответственно N_{fr} — на свободной поверхности и N_{int} — в интеркалированном состоянии; I_{Al} — интенсивность оже-сигнала алюминия; K — коэффициент элементной чувствительности, определенный так, что на поверхности металла, свободной от ДГП,

$$I_{\text{Al}} = KN. \quad (1)$$

Тогда будет справедливо следующее соотношение:

$$I_{\text{Al}} = KN_{\text{fr}}(1 - s) + KsN_{\text{int}}\delta^{-1}. \quad (2)$$

Мы предполагаем, что вплоть до достижения поверхностной концентрации, соответствующей ПА на свободной от ДГП поверхности металла, все упавшие атомы алюминия остаются на адсорбционном слое, в то время как под ДГП их количество меньше в W раз, где W — эффективность интеркалирования. В общем случае W следует определить как отношение числа интеркалированных частиц к общему числу упавших на поверхность, покрытую графитовой пленкой,

$$W = N_{\text{int}}/\nu t, \quad (3)$$

и, следовательно,

$$I_{\text{Al}} = K\nu t(1 - s) + KsW\nu t\delta^{-1}. \quad (4)$$

При этом мы предположили, что атомы алюминия, упавшие на свободные от ДГП участки поверхности, не интеркалируют под графитовые островки и строят свой ПА, а основная доставка алюминия в интеркалированное состояние осуществляется путем миграционного стока атомов Al с внешней поверхности графитовых островков через дефекты в пленке.

Соотношение (4) является линейной формой по отношению к времени, и, естественно, не может описывать кривых с насыщением, наблюдаемых на опыте. Насыщение этих кривых определяется растворением атомов алюминия, поступивших на поверхность в количестве сверх необходимого для образования ПА, и этот процесс не описывается в развитой выше простой модели. Однако начальные стадии процесса, до начала растворения, соотношение (4) должно описывать. Действительно, видно, что начальные участки всех зависимостей на рис. 3 прямолинейны. Наклоны этих прямых, dI_{Al}/dt , выражаются легко выводимым из (4) соотношением

$$dI_{\text{Al}}/dt = K\nu(1 - s) + KsW\nu\delta^{-1}. \quad (5)$$

Соотношение (5) позволяет нам определить эффективность интеркалирования для субмонослойной графитовой пленки. В самом деле, величины s и δ мы

знаем из независимых экспериментов, а произведение $K\nu$ дает кривая I на рис. 3, описывающая изменение оже-сигнала алюминия при его напылении на чистый рений постоянным потоком с известной нам плотностью.

Расчет показывает, что в пределах точности эксперимента эффективность интеркалирования практически не зависит от количества алюминия, уже интеркалированного под пленку, но зависит от доли поверхности, покрытой островками, и при $T = 1100$ К возрастает от $W = (0.35 \pm 0.1)$ при $s = 90\%$ до $W \approx 1$ при $s < 70\%$. Отметим, что полученные величины существенно больше, чем эффективность интеркалирования атомов алюминия под сплошную ДГП монослойной толщины.

Логично предположить, что качество самого графитового слоя не зависит от сплошности или несплошности пленки, однако во втором случае резко повышается количество границ островков, а возможно, и уменьшается их размер. В самом деле, разрушение графитовых островков идет с краев [3], и это не удивительно, если вспомнить, что одиночный атом углерода связан внутри слоя с энергией ~ 9 эВ [4], а на краях островка существенно слабее: энергия ~ 3 эВ на рении [10] и ~ 4.5 эВ на иридии [3]. По-видимому, значительное различие между эффективностью интеркалирования под монослойную и субмонослойную пленку указывает на то, что именно края графитовых островков являются теми дефектами, через которые и происходит интеркалирование частиц под ДГП, как было предложено в [14]. При слиянии островков в сплошной монослой проникаемость в отношении интеркалирующих частиц падает. Напротив, возрастание эффективности до величины, близкой к единице, означает, что размер островков стал близким к миграционным длинам для атомов алюминия за время их жизни на поверхности графита при данной температуре. По данным сканирующей туннельной микроскопии средний размер островков составляет 3000–8000 Å, и, следовательно, миграционные длины атомов алюминия при 1000–1100 К имеют тот же порядок.

Весьма вероятно, что описанное выше увеличение эффективности интеркалирования носит универсальный характер и будет наблюдаться для многих типов интеркалирующих частиц.

Заключение

Впервые установлено, что атомы алюминия интеркалируют под двумерную графитовую пленку на поверхности (111) иридия и на поверхности (10 $\bar{1}$ 0) рения, определена эффективность этого процесса. Обнаружен новый эффект — резкое увеличение эффективности интеркалирования чужеродных атомов под ДГП на металлах при ее трансформации из монослойной (покрывающей всю поверхность) в островковую субмонослойную. Освобождение от графитового слоя 10% поверхности металла (рения) приводит к увеличению эффективности интеркалирования атомов алюминия при 1100 К

в 5 (!) раз. Развита физическая модель, и предложен механизм наблюдаемого явления, которое, по-видимому, носит универсальный характер. Полученные результаты позволяют с большой вероятностью утверждать, что именно края графитовых островков, а не какие-либо иные типы дефектов, являются теми "воротами", через которые происходит интеркалирование.

Работа выполнена при поддержке Государственной программы РФ "Физика твердотельных наноструктур" (проект N 99-2039).

Список литературы

- [1] Е.В. Рутьков, А.Я. Тонтегоде. Письма ЖТФ, **7**, 1122 (1981).
- [2] Е.В. Рутьков, А.Я. Тонтегоде. УФН, **163**, 57 (1993) [Sov. Phys. Usp., **36**, 1053 (1993)].
- [3] N.R. Gall, E.V. Rut'kov, A.Ya. Tontegode. Int. J. Mod. Phys. B, **11**, 1765 (1997).
- [4] A.Ya. Tontegode. Progr. Surf. Sci., **38**, 201 (1991).
- [5] M. Eizenberg, J.M. Blakely. Surf. Sci., **82**, 228 (1979).
- [6] Л. Болотов, Н.Р. Галль, И.В. Макаренко, А.Н. Титков, В. Вакар, Е.В. Рутьков, А.Я. Тонтегоде, М.М. Усуфов. ФТТ, **40**, 1570 (1988) [Phys. Sol. St., **40**, 1423 (1998)].
- [7] Н.Р. Галль, И.В. Макаренко, А.Н. Титков, В. Вакар, Е.В. Рутьков, А.Я. Тонтегоде, М.М. Усуфов. Поверхность, N 7, 39 (1999).
- [8] Hu Zi-Pu, D.F. Ogletree, M.A. Van-Hove, G.A. Somorjai. Surf. Sci., **180**, 433 (1987).
- [9] R. Rossei, M. De Crescenzi, F. Sette, C. Quaresima, A. Savoia, P. Perfetti. Phys. Rev. B, **28**, 1161 (1983).
- [10] N.R. Gall, S.N. Mikhailov, E.V. Rut'kov, A.Ya. Tontegode. Surf. Sci., **191**, 185 (1987).
- [11] M. Parschan, K. Cristmann. Surf. Sci., **347**, 63 (1996).
- [12] S. Srivastava, J. Almlöf. Surf. Sci., **255**, L509 (1991).
- [13] N.R. Gall, E.V. Rut'kov, A.Ya. Tontegode. Carbon, **38**, 663 (2000).
- [14] А.Я. Тонтегоде. Письма ЖТФ, **15**, 57 (1989) [Sov. Tech. Phys. Lett., **15**, 271 (1989)].

Редактор Л.В. Шаронова

Efficiency of Al atomic intercalation under the mono- and sub-monolayer two-dimensional graphite film on a metal

N.R. Gall, E.V. Rut'kov, A.Ya. Tontegode

Ioffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract A study has been made of aluminium atomic intercalation under the two-dimensional graphite film on a metal by a high-resolution Auger electron spectroscopy with taking spectra directly of samples heated up to 2100 K. The process efficiency has been shown to grow significantly if the film is not continuous but consists of a number of islands, a portion of the surface being free of graphite. We have assumed that a graphite island edge is a defect through which intercalation atoms penetrate under the film.