

ФОТОСТИМУЛИРОВАННАЯ ДЕСОРБЦИЯ АТОМОВ МЕТАЛЛОВ С ПОВЕРХНОСТИ ПРОЗРАЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

И.Н.Абрамова, Е.Б.Александров, А.М.Бонч-Бруевич

В.В.Хромов

Обнаружено: а) влияние облучения светом прозрачной диэлектрической поверхности на адсорбцию ею атомов металла и б) фотоиспарение атомов, образующих металлическую пленку на этой поверхности. Во всех случаях механизм воздействия света представляется нетепловым.

Вопросам фотосорбции и десорбции частиц на поверхности твердого тела в последние годы посвящено множество работ ¹⁻³. В подавляющем большинстве из них исследуются сорбции и десорбции молекул на поверхности, поглощающей излучение. Мы сообщаем о наблюдениях яркого проявления процессов фотодесорбции и сорбции атомов металлов на поверхности прозрачного диэлектрика, освещаемого светом маломощных непрерывных лазеров. Совокупность наблюдений свидетельствует о нетепловой природе возникающих явлений и о линейности процессов взаимодействия света с адсорбированными атомами.

1. Большая часть экспериментов проведена при адсорбции атомов натрия на поверхности сапфировой пластинки. Пучок атомов натрия напылялся на сапфировую пластинку при комнатной температуре. Одновременно на пластинку направлялся луч лазера. Плотность мощности менялась фокусировкой. Толщина напыляемой пленки достигала 100 – 2000 Å, скорость напыления варьировалась в диапазоне 0,1 – 5 Å/с. Давление остаточных газов в объеме было не меньше 10^{-6} торр. Специальных мер для очистки адсорбирующей поверхности, кроме прогревания в вакууме, не предпринималось.

Первые опыты проводились с излучением, резонансным переходу $3S - 3P$ атомов натрия 5890 Å. (Выбор этой длины волны определялся исходной задачей исследования аккомодации поверхностью возбужденных атомов). Оказалось, что металлическая пленка не образуется на освещенной части поверхности. Сразу же было выяснено, что эффект сохраняется при перестройке частоты излучения лазера в пределах 100 Å от резонанса, а также при переходе к длине волны 6328 Å (He – Ne-лазер). Вместе с тем эффект полностью отсутствовал при использовании линии 1,15 мкм He – Ne-лазера, хотя мощность генерации в этой линии была в три раза выше, чем в линии 6328 Å при том же пятне.

Следует отметить "пороговый" характер эффекта: при заданной мощности излучения ситуация не менялась по мере роста скорости напыления до некоторой величины, после чего эффект исчезал и в освещенной области возникала металлическая пленка. С ростом мощности облучения "пороговая" скорость напыления возрастала.

Такой же эффект был обнаружен при напылении на сапфир цинка и олова и не обнаружен в случае серебра и алюминия. При напылении алюминия на плавленный кварц был обнаружен эффект обратного знака: толщина пленки в зоне облучения оказалась больше, чем в необлученной области. Эксперименты с этими металлами проводились только с аргоновым лазером.

2. Наблюдавшийся эффект фотоуправления сорбцией металла носил нетепловой характер. Это следует прежде всего из оценок возможного лучевого нагрева поверхности. При использованных плотностях мощности (1 – 100 мВт на площадь $10^{-1} - 10$ мм²) и малом поглощении максимальные оценки нагрева не превышают десяти градусов. Между тем эффект не менялся при охлаждении подложки до -30°C . О нетепловой природе процесса свидетельствует и высокое пространственное разрешение: при облучении подложки с фокусировкой света цилиндрической линзой в пленке были получены щелевые отверстия с шириной 20 мкм, при том что длительность напыления существенно превышала время установления теплового равновесия. Наконец, об этом же говорит и наличие "красной границы" эффекта.

Имеющихся данных недостаточно для детальных суждений о механизме наблюдавшихся явлений. Однако их существование при весьма умеренных интенсивностях света и нетепловой характер наводят на мысль о том, что они связаны с электронным возбуждением квазимолекулярных систем, образующихся при взаимодействии атома с поверхностью. Безызлучательная релаксация этого возбуждения может приводить к диссоциации системы, т. е. к десорбции атома. Аналогичные механизмы рассматривались в ^{1, 4} применительно к десорбции электронно и колебательно возбужденных молекул. С этих позиций становится понятным существование "пороговой" скорости напыления. При заданной вероятности фотодесорбции (определяемой сечением процесса и интенсивностью света) конкуренция напыления и десорбции устанавливает стационарную концентрацию адсорбированных атомов. Пока скорость напыления мала, адсорбированные атомы не образуют сплошной пленки. При достижении скорости напыления "порогового" значения, атомы образуют на поверхности монослой, после чего фотодесорбция с поверхности диэлектрика сменяется фотоотрывом атомов с поверхности монослоя. Сечение этого процесса много меньше (или равно нулю) (см., ниже п. 3), вследствие чего толщина пленки начинает беспрепятственно расти. "Пороговое" условие напыления позволяет грубо оценить эффективное сечение фотодесорбции натрия с сапфира величиной 10^{-18} см².

Эффект обратного знака, имевший место при напылении алюминия на кварц, также допустим в рамках представлений о фотовозбуждении адсорбированных атомов. Действительно, возбуждение меняет потенциал взаимодействия адсорбированного атома с поверхностью ^{1, 5}, в связи с чем возникает дополнительная возможность релаксации поступательной (колебательной) энергии атома и тем самым вероятность его аккомодации на поверхности увеличивается.

3. Помимо описанного влияния подсветки на процесс напыления металлической пленки мы наблюдали и явление "фотоиспарения" уже сформированной металлической пленки. Под действием облучения толщина пленки уменьшалась линейно со временем. Этот процесс наблюдался только для пленок натрия. Вероятность фотоотрыва атома от металлической пленки оказалась много меньшей, чем десорбция атома с поверхности сапфира. Если для напыления пленки с отверстием под лучом лазера нужны были минуты, то для "прожига" отверстия в тех же условиях в заранее напыленной пленке требовались десятки минут. Квантовый выход процесса оценен как $10^{-7} - 10^{-8}$.

Процесс "фотоиспарения" натрия также нетепловой природы. Это подтверждается теми же аргументами, что и для фотодесорбции с поверхности диэлектрика. К этому следует добавить тот факт, что "фотоиспарение" пленки определенной толщины зависело только от дозы облучения, т. е. скорость испарения линейно связана с интенсивностью. Это резко противоречит картине теплового испарения ввиду экспоненциальной зависимости давления паров над металлом от температуры.

В заключение отметим, что изучение процессов фотостимулированного роста и испарения металлических пленок, легко контролируемых оптически, имеет значительные преимущества перед традиционными методами изучения фотосорбции и фотодесорбции.

Литература

1. Теренин А.Н. Избранные труды. т. 3. Спектроскопия адсорбированных молекул и поверхностных соединений, Л.: Наука, 1975.
2. Волькенштейн Ф.Ф. Физико-химия поверхности полупроводников, М.: Наука, 1973.
3. Карлов Н.В., Прохоров А.М. УФН, 1977, 123, 57.
4. Карлов Н.В., Шайтан К.В. ЖЭТФ, 1976, 72, 464.
5. Гольданский В.И., Намиот В.А., Хохлов Р.В. ЖЭТФ, 1976, 70, 2349.