

03,08

Электронно-стимулированная десорбция атомов Na с поверхности интерметаллида CsAu

© Ю.А. Кузнецов, М.Н. Лапушкин[†]

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, Россия

[†] E-mail: lapushkin@ms.ioffe.ru

Поступила в Редакцию 24 июня 2024 г.

В окончательной редакции 26 июня 2024 г.

Принята к публикации 27 июня 2024 г.

Исследована электронно-стимулированная десорбция атомов Na с поверхности 2D-интерметаллида CsAu при напылении на нее атомов Na. Показано, что до толщины покрытия 0.35 монослоя атомов Na электронно-стимулированная десорбция атомов Na связана с возбуждением остовных уровней адсорбата Cs 5s и Au 5p_{3/2} и с возбуждением остовного уровня адсорбента Na 2p, а при покрытиях более 0.4 монослоя Na электронно-стимулированная десорбция атомов Na связана только с возбуждением остовных уровней адсорбата Au 5p_{3/2}. В распределении по кинетическим энергиям десорбирующихся атомов Na обнаружено два пика, положение которых и интенсивность зависят от покрытия атомами Na. Предложена модель электронно-стимулированной десорбции атомов Na связанная с возбуждением остовных уровней Cs 5s, и Au 5p_{3/2} и Na 2p.

Ключевые слова: электронно-стимулированная десорбция, интерметаллид, адсорбция, натрий, CsAu.

DOI: 10.61011/FTT.2024.09.58773.164

1. Введение

Интерметаллические соединения (сплавы) используются с давних времен. Первым интерметаллическим сплавом, известным человечеству, была бронза. Использование интерметаллидов вызвано очевидной причиной: интерметаллические соединения (сплавы) двух и более металлов обладают свойствами нехарактерными для исходных металлов. Сейчас интерметаллиды находят большое применение в различных отраслях науки, промышленности, технике и медицине [1–5]. Среди интерметаллидов выделяются соединения золота со щелочными металлами. Два из них могут образовывать полупроводниковые соединения (CsAu, RbAu) [6,7]. Однако при переходе к двумерным слоям интерметаллиды Li_xAu_y [8], Na_xAu_y [9] и K_xAu_y [10] также могут быть полупроводниками. Именно возможность перехода из металла в полупроводник вызывает интерес к их исследованиям.

В середине прошлого века было показано [6], что интерметаллид CsAu является широкозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 2.6 eV. Формированию полупроводникового соединения CsAu при напылении атомов Cs на Au был посвящен ряд работ: при напылении на золотую пленку, напыленную на W [11], на золотую пленку, напыленную на поверхность Ru(100) [12], на поверхность массивного золота [13,14].

Формирование интерметаллида Na_xAu_y, как и CsAu, происходит при комнатных температурах со стехиометрией соединения, зависящей от условий его образования [15–17].

С помощью туннельной микроскопии в [18] исследована адсорбция Na на поверхности Au(111). Было показа-

но, что при покрытии натрием толщиной 0.46 монослоя (ML) формируется плохоупорядоченная гексагональная структура, что вызвано взаимодействием между атомами Na и поверхностными атомами Au и одновременным ослаблением связи между первым и вторым слоем Au. В [15] исследована адсорбция атомов натрия на Au(111) в большом диапазоне температур. В частности, было показано, что при комнатной температуре при напылении атомов Na до покрытий толщиной 0.4 ML происходит адсорбция натрия на шевронной структуре поверхности золота. Напыление 0.46 ML натрия вызывает превращение шевронной структуры поверхности Au(111) в плохоупорядоченную доменную структуру с изотропно сжатым поверхностным слоем и гексагональной симметрией. Формирование интерметаллида NaAu₂ происходит при напылении более одного монослоя Na. В [16] показано, что при малых концентрациях по сравнению с натрием и давлении менее 1 GPa образуется Na₂Au, при давлении в диапазоне 1–60 GPa образуется Na₃Au. Образование интерметаллида на пленке золота на вольфраме (Au/W), используемой при исследовании электронно-стимулированной десорбции атомов (ЭСД), может отличаться от образования интерметаллида на массивном образце Au, а также зависеть от выхода грани золота на поверхности.

В [19] изучено влияние адсорбции натрия на пленку золота толщиной 2.7 nm, нанесенную на вольфрамовую подложку. Напыление атомов Na на тонкую пленку Au на W приводит к изменению спектров валентной зоны и остовных уровней золота и вольфрама. Анализ спектров показал, что атомы Na в поверхностном слое находятся в нейтральном состоянии, а диффузия атомов Na вглубь

пленки Au приводит к образованию интерметаллида Na_xAu_y . Нагревание пленки Au с образовавшимся интерметаллидом Na_xAu_y при температуре 640 K приводит к частичной десорбции атомов Na и Au из поверхностного слоя интерметаллида Na_xAu_y .

В [20] с помощью термодесорбционной спектроскопии исследована адсорбция атомов Na на поверхности предварительно напыленной пленки золота с дозой напыления более 3.3 монослоя на поверхность текстурированного W(100) и показано, что атомы Na десорбируются в трех фазах: из монослойной пленки Na, многослойной пленки натрия, и из интерметаллида Na_xAu_y .

NaAu_2 получают в расплаве золота с натрием при температуре 1200°C по методу Бриджмена [17]. Также возможно образование Na_xAu_y при температуре 1000 K при напылении атомов Na на поверхность золотой ленты [21]. Полученный таким образом слой Na_xAu_y является широкозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 2.7 eV [21]. На поверхности Na_xAu_y протекают различные каталитические реакции. В [22] показано, что при адсорбции диэтиламина в результате каталитических реакций на поверхности Na_xAu_y образуются продукты с молекулярной массой в несколько раз превышающей молекулярную массу диэтиламина.

Формирование двумерного полупроводникового слоя Na_xAu_y при напылении атомов Na на поверхность Au было исследовано в [9] методом электронно-стимулированной десорбции атомов Na. ЭСД атомов при энергии возбуждающих десорбцию атомов менее 200 eV наблюдается только с поверхности полупроводников и диэлектриков, а с поверхности металлов не наблюдается из-за быстрой диссипации энергии [23–26].

В настоящее время предлагается следующая схема формирования интерметаллидов золота со щелочными металлами (ЩМ) при напылении атомов ЩМ на поверхность 2D-слоя золота при температурах, близких к комнатным, которая может отличаться от процесса формирования интерметаллида на поверхности массивного образца золота. При напылении атомов ЩМ на поверхность золота при субмонослойных покрытиях атомами ЩМ не происходит формирования интерметаллида Au-ЩМ. Только при дозе напыления атомов ЩМ более одного монослоя происходит формирования 2D-слоя интерметаллида Au-ЩМ, причем на поверхности присутствует всего монослой адсорбированных атомов ЩМ.

Известна фазовая диаграмма системы золото–натрий [27]. При комнатной температуре и нормальном давлении показано существование интерметаллидов Na_2Au , NaAu и NaAu_2 .

В работе была поставлена задача с помощью электронно-стимулированной десорбции исследовать адсорбцию атомов щелочных металлов на поверхности интерметаллида Au с другим щелочным металлом на примере адсорбции атомов Na на поверхности CsAu.

2. Эксперимент

2.1. Материалы

Мишенью служили текстурированные вольфрамовые ленты с преимущественным выходом на поверхность грани (100). Ленты при $T = 2000$ K и давлении $1 \cdot 10^{-9}$ Torr в течение 5 h предварительно прогревались пропусканием переменного тока для вывода на поверхность преимущественно грани (100) [9], после чего они очищались от углерода путем отжига при $T = 1800$ K в кислороде при давлении $1 \cdot 10^{-6}$ Torr в течение 3 h. Очистка ленты завершалась после откачки кислорода десорбцией кислорода при $T = 2200$ K в течение 3 min.

Золото напылялось на ленту из прямонакальной вольфрамовой трубки, в которую помещались кусочки золотой фольги с чистотой 99.99%. Трубка располагалась параллельно ленте, и в ней имелись отверстия для равномерного напыления золота вдоль ленты.

Источником потока атомов цезия и натрия служили стандартные трубчатые прямонакальные испарители, в которых находилась термически разлагаемая смесь хромата цезия (или натрия) с цирконием и алюминием. Трубки диаметром 3 mm имели по длине несколько отверстий для равномерного напыления цезия (или натрия) вдоль мишени. Чистота потока осаждаемых атомов контролировалась с помощью квадрупольного масс-спектрометра MS7302.

Облучение мишени электронами осуществлялось в стационарном режиме. В качестве эмиттера электронов использовалась поликристаллическая вольфрамовая нить диаметром 0.15 mm, расположенная параллельно мишени. Плотность тока облучающих электронов не превышала 10^{-5} A/cm² при энергии электронов 100 eV, поэтому облучение мишени электронами не вызывало ее заметного нагрева.

2.2. Приготовление образцов

Использован следующий метод создания исследуемых образцов: на чистую вольфрамовую ленту при комнатной температуре напыляли пленку золота толщиной 5 монослоев. После чего на слой Au при $T = 300$ K напыляли атомы Cs с дозой, соответствующей напылению 5 монослоев, что приводило к формированию интерметаллида CsAu [11]. Поверхностный слой Cs удалялся при нагреве при температуре $T = 320$ K в течении 80 min [11] для получения чистой поверхности CsAu. Далее на поверхность CsAu напыляли необходимое для измерений ЭСД количество атомов натрия (оно варьировалось в разных экспериментах). После проведения измерений поверхность вольфрама очищалась и приготавливалась заново.

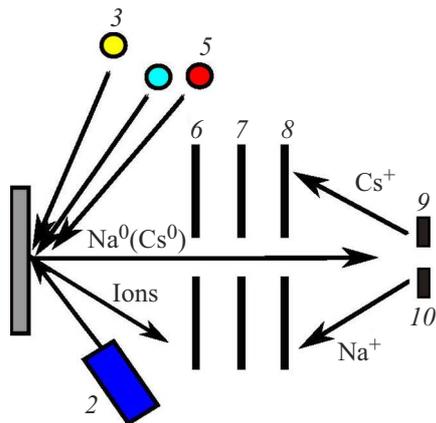


Рис. 1. Схема эксперимента. 1 — вольфрамовая лента, 2 — источник электронов, 3, 4 и 5 — испарители Au, Cs и Na, 6, 7 — электроды, задерживающие ионы, десорбирующиеся при электронном облучении образца, 8 — коллектор ионов, 9 — поверхностная ионизационная вольфрамовая лента, 10 — поверхностная ионизационная иридиевая лента.

2.3. Экспериментальная установка

Описанные в настоящей работе исследования проведены в сверхвысоковакуумной установке „Спектрометр ЭСД“, схема эксперимента которого приведена на рис. 1. Давление в установке во время эксперимента было менее $5 \cdot 10^{-10}$ Торр. Эксперименты проводили при температуре $T = 300$ К. Вольфрамовую ленту со сформированным слоем CsAu и напыленным покрытием Na облучали пучком электронов с энергией в диапазоне 0–200 eV. Мощность, подводимая электронным пучком, не изменяла температуру ленты. Концентрация Cs и Na на поверхности ленты определялась по времени напыления постоянным потоком, интенсивность которого измерялась по току поверхностной ионизации на ленте из тугоплавкого металла [28,29]. Ионизация десорбирующихся атомов цезия осуществлялась с помощью нагретой вольфрамовой ленты, а ионизация десорбирующихся атомов натрия — с помощью нагретой иридиевой ленты. За величину выхода ЭСД атомов q принято отношение плотности десорбирующегося потока атомов к плотности потока возбуждающих ЭСД электронов. Установка „Спектрометр ЭСД“ позволяла регистрировать выход ЭСД атомов q , измерять зависимость этого выхода q от энергии возбуждающих электронов и количества нанесенных на подложку атомов Na и Cs.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Результаты

На рис. 2 приведена измеренная при $T = 300$ К зависимость выхода ЭСД атомов Cs с поверхности 2D-слоя интерметаллида CsAu от энергии бомбардирующих электронов E_{ex} после удаления поверхностного слоя Cs

(смотри схему на рис. 3, b). В зависимости выхода ЭСД атомов Cs наблюдается один широкий резонансный пик с максимумом при 65.6 eV. Положение пика совпадает с результатами исследования ЭСД системы Cs/CsAu, приведенными в работе [8], в которой пик связывался с возбуждением основного уровня Au $5p_{3/2}$ (энергия связи $E_b = 57.2$ eV). Пика, соответствующего возбуждению уровня Au $5p_{1/2}$ ($E_b = 74.2$ eV) не регистрируется. Это связано с тем, что при возбуждении основного уровня Au $5p_{1/2}$ образующаяся дырка нейтрализуется за счет перехода электрона с уровня Cs $5d$ (энергия связи дублета $E_b = 77.5$ и 79.8 eV). Полная ширина на полувысоте Γ равна 10.8 eV.

После напыления на поверхность 2D-слоя интерметаллида CsAu атомов натрия наблюдается ЭСД атомов Na даже при покрытиях атомами натрия менее одного монослоя, как это наблюдается при напылении атомов щелочного металла на поверхность золота. На рис. 2 приведена измеренная при $T = 300$ К зависимость выхода ЭСД атомов Na от энергии бомбардирующих электронов с поверхности слоя CsAu, на поверхность которого нанесено 0.23 ML натрия. Соответствующая схема 2D-слоя приведена на рис. 3, c. В зависимости выхода ЭСД атомов Na видно два пика с максимумами приблизительно при 42 и 63.3 eV. Плохо разрешенный пик в области энергий возбуждения 24–54 eV можно разложить на два: с максимумом при энергии $E_{ex\ max}$ 34.6 и 44.8 eV. Пик с энергией 34.6 eV можно связать с возбуждением основного уровня Cs $5s$ ($E_b = 22.7$ eV), пик с $E_{ex\ max} = 44.8$ eV можно связать с возбуждением основного уровня Na $2p$ ($E_b = 30.8$ eV), пик с $E_{ex\ max} = 63.3$ eV можно связать с возбуждением основного уровня Au $5p_{3/2}$ ($E_b = 57.2$ eV). Полная ширина на полувысоте Γ пиков с максимумами при энергии 34.6

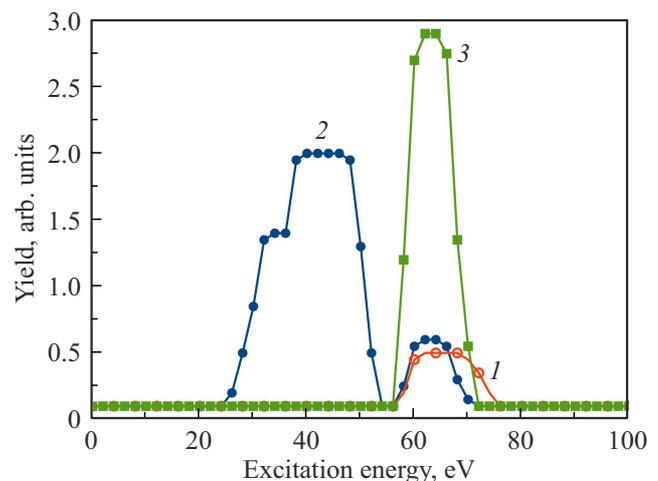


Рис. 2. Выход атомов Cs (1) и Na (2, 3) при ЭСД с поверхности CsAu при $T = 300$ К в зависимости от энергии бомбардирующих электронов E_{ex} . После прогрева CsAu (1), после напыления 0.23 ML атомов Na (2) и после напыления 0.95 ML атомов Na (3).

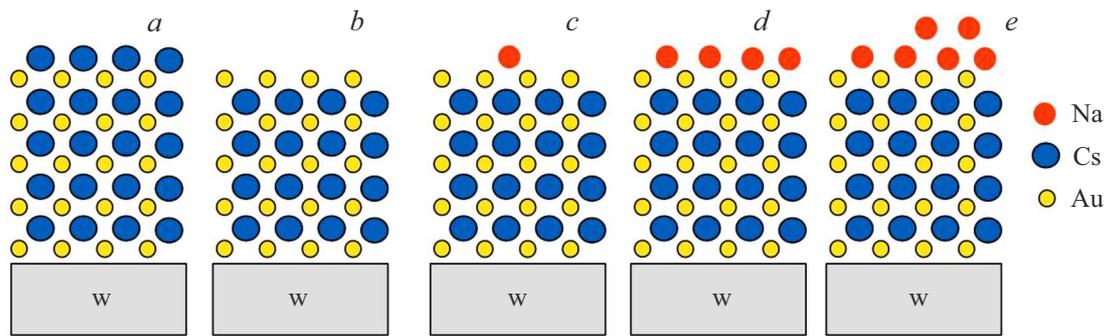


Рис. 3. 2D-слой CsAu после формирования слоя (a), после прогрева при температуре 320 K в течение 80 min (b), после напыления 0.25 монослоя атомов Na (c), после напыления 1.0 монослоя атомов Na (d) и после напыления более 1 монослоя атомов Na (e).

и 44.8 eV соответственно равна 10.4 и 10.6 eV. Отметим, что площадь под пиком при $E_{\text{ex max}} = 44.8$ eV в 1.6 раза больше, чем площадь под пиком при $E_{\text{ex max}} = 34.6$ eV. Это может быть связано как с разницей в спектральных зависимостях вероятности возбуждения этих уровней, так и с количеством атомов слоя Cs в CsAu и адсорбированных атомов Na. Площадь пика, связанного с возбуждением Au $5p_{3/2}$, уменьшается на 25%, его максимум сдвигается в сторону меньших энергий до значения 63.3 eV и ширина значительно уменьшается (на 3.4 eV) по сравнению с чистой поверхностью CsAu. Можно предположить, что образуется дополнительный канал нейтрализации дырки на уровне Au $5p_{3/2}$ за счет перехода электрона с основного уровня Na $2s$ ($E_b = 63.5$ eV). Протекающие при этом различные Оже-процессы в интерфейсе Na/CsAu приводят к захвату электрона на образующемся локальном уровне, который расположен ниже дна зоны проводимости вблизи от него, адсорбированным атомом натрия, как это предложено в модели ЭСД системы Cs/CsAu [30]. Напыление одного монослоя Na на поверхность CsAu с удаленным верхним слоем приводит к тому, что в зависимости выхода ЭСД атомов Na от энергии возбуждения остается только один пик, который соответствует возбуждению основного уровня Au $5p_{3/2}$, интенсивность которого возрастает (рис. 2).

В отличие от ЭСД атомов Na и Cs при адсорбции этих щелочных металлов на поверхности Au [9,11], в нашем случае ЭСД атомов Na наблюдается при субмонослойных покрытиях Na (рис. 2). Это связано с тем, что адсорбция атомов Na происходит на уже сформированном полупроводниковом 2D-слое CsAu. При адсорбции атомов Na и Cs на поверхности Au адсорбированный слой Na (Cs) не принимает участие в формировании интерметаллида, и соответственно при этих субмонослойных покрытиях ЭСД щелочных металлов не наблюдается.

На рис. 4 показана зависимость выхода ЭСД атомов Na с поверхности CsAu, при $T = 300$ K от дозы напыленного Na при энергии возбуждения 34, 42 и 64 eV. Выбор энергий связан с наличием трех пиков в зависимости выхода ЭСД атомов Na, которые соответствуют

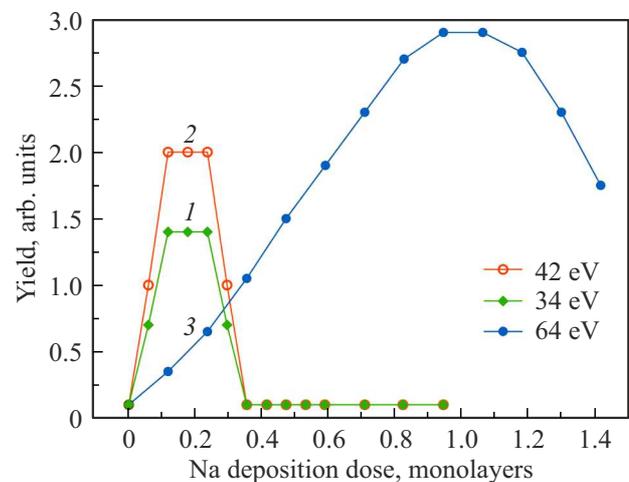


Рис. 4. Выход атомов Na при ЭСД с поверхности CsAu при $T = 300$ K в зависимости от дозы напыленного Na: при энергии бомбардирующих электронов 34 (1), 42 (2) и 64 eV (3).

возбуждению основных уровней Cs $5s$, Na $2p$, Au $5p_{3/2}$. Рассмотрим зависимость выхода ЭСД атомов натрия в случае возбуждения основного уровня Au $5p_{3/2}$. Видно, что при энергии возбуждения 64 eV выход ЭСД атомов натрия наблюдается во всем исследованном диапазоне доз напыленного натрия. Так как адсорбция атомов натрия происходит на поверхность интерметаллида CsAu, то ЭСД атомов натрия наблюдается уже при 0.12 монослоя.

Увеличение дозы напыления атомов натрия приводит к линейному росту выхода ЭСД атомов натрия до дозы напыления натрия 0.87 ML. После достижения максимума выхода ЭСД атомов натрия при монослойном покрытии происходит спад выхода ЭСД. Спад выхода ЭСД атомов натрия после нанесения монослойного покрытия связан с экранирующим эффектом второго слоя атомов натрия, которые препятствуют десорбции атомов натрия из низлежащего слоя натрия. Аналогичная ситуация наблюдалась при напылении атомов Na и Cs на адсорбированный монослой атомов Na и

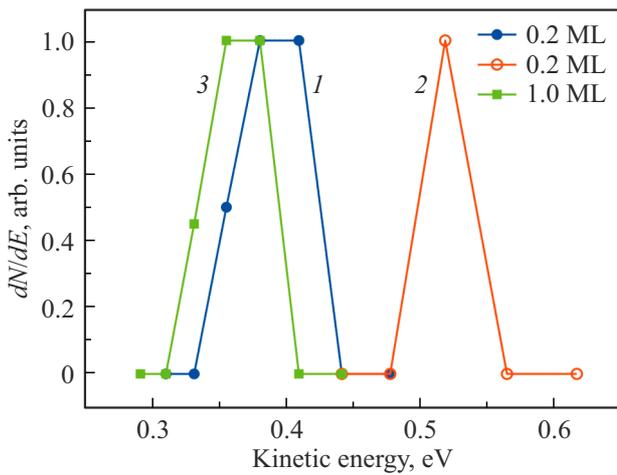


Рис. 5. Нормированные распределения по кинетическим энергиям E_{kin} атомов Na при ЭСД с поверхности 2D-слоя CsAu с удаленным верхним слоем Cs после напыления атомов Na при покрытиях Na, равных 0.23 (1, 2) и 0.95 ML (3). Энергии бомбардирующих электронов 64 (1, 3) и 42 eV (2).

Cs на поверхности 2D-слоя золота толщиной 2 моно-слоя [9,11]. Совершенно другая картина наблюдается для зависимости выхода ЭСД атомов натрия при энергии возбуждения 34 и 42 eV (эти энергии соответствуют возбуждению соответственно остовных уровней Cs 5s и Na 2p). ЭСД атомов натрия наблюдается в очень узком диапазоне доз напыления натрия: при дозе напыления 0.3 монослоя она пропадает. Максимум выхода ЭСД атомов натрия достигается при дозе напыления 0.15 монослоя. Такое поведение ЭСД атомов натрия при энергии возбуждения 34 и 42 eV можно объяснить особенностями формирования субмонослойного покрытия натрия. При небольших покрытиях адсорбция атомов натрия происходит, скорее всего, в ямочной позиции над атомом цезия и между атомами золота. Поэтому становится возможным возбуждение остовных уровней Cs 5s и Na 2p с последующей нейтрализацией дырки на этих уровнях за счет различных Оже-процессов в интерфейсе Na/CsAu.

На рис. 5 представлены нормированные распределения по кинетическим энергиям E_{kin} атомов Na при ЭСД с поверхности 2D-слоя CsAu с удаленным верхним слоем Cs после напыления атомов Na при температуре 300 K для энергии бомбардирующих электронов 42 и 64 eV после напыления атомов Na. При напылении 0.2 ML атомов натрия в спектре видны два высокоэнергетических пика: с максимумами при энергии $E_{kin max} = 0.4$ eV и $E_{kin max} = 0.52$ eV. Обычно низкоэнергетические пики при ЭСД атомов щелочных металлов имеют максимум при $E_{kin} < 0.2$ eV [9,11]. Эти пики связаны с возбуждением десорбции атомов Na из поверхностного слоя адсорбированных атомов Na. Как указывалось выше, при этих энергиях возбуждения ЭСД атомов Na связана с возбуждением остовных уровней Na 2p и Au 5p_{3/2}.

Увеличение покрытия атомов натрия до монослойного приводит к сдвигу максимума пика при $E_{kin max} = 0.4$ eV в сторону меньших кинетических энергий на 0.06 eV. Пик с $E_{kin max} = 0.52$ eV не наблюдается.

Наличие двух пиков можно объяснить тем, что адсорбция атомов Na происходит в разных адсорбционных местах на поверхности CsAu. Пик с $E_{kin max} = 0.4$ eV скорее всего связан с образующимся 2D-слоем атомов Na. По мере увеличения покрытия атомов Na за счет латерального взаимодействия атомов Na происходит уменьшение расстояния между атомами Na и возрастает расстояние между субмонослойным покрытием Na и поверхностью CsAu.

3.2. Модель

На рис. 6 приведена схема процессов, происходящих в электронной структуре системы Na–CsAu. Электронное облучение образца приводит к возбуждению электрона с остовного уровня Au 5p (1) в локальное состояние E_{L0} рядом с дном зоны проводимости E_{CBM} , опустившееся в поле образовавшейся остовой дырки Au 5p⁺ из зоны проводимости в запрещенную зону полупроводника CsAu. Образовавшаяся дырка Au 5p⁺ нейтрализуется электронами с уровня Cs 5s (2) или из валентной зоны CsAu (3). Нейтрализация дырки Au 5p⁺ за счет перехода с уровня Cs 5p запрещена правилами отбора. В дальнейшем происходят различные Оже-процессы

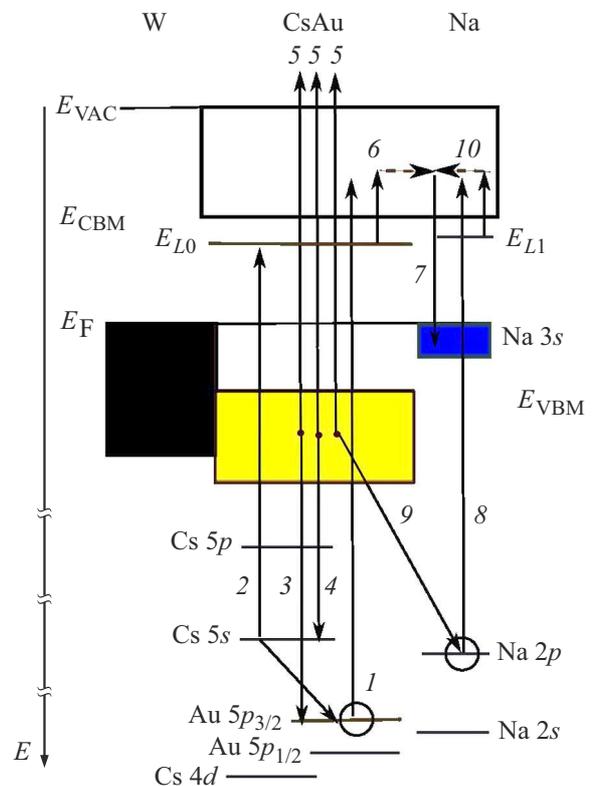


Рис. 6. Схема процессов электронно-стимулированной десорбции в интерфейсе Na/CsAu на вольфрамовой подложке.

в результате которых происходит нейтрализация всех образовавшихся дырок, включающие в себя заполнение всех дырок (4), с возбуждением электронов валентной зоны (E_{VBM} — потолок валентной зоны) в вакуум или в зону проводимости (5) за счет выделяющейся энергии. Нейтрализация дырки Au $5p^+$ возвращает локальное состояние E_{L0} в зону проводимости (6). Далее электроны в зоне проводимости могут быть захвачены потенциальным полем остова Na^+ с образованием нейтрального атома Na^0 в адсорбированном слое Na (7). Образованный при этом атом Na^0 , увеличившийся в объеме (по сравнению с ионом Na^+) выталкивается из адсорбированного слоя Na на поверхности CsAu.

Электронное облучение образца также приводит к возбуждению электрона с остова уровня Na $2p$ (8) в локальное состояние E_{L1} рядом с дном зоны проводимости, опустившееся из зоны проводимости в поле образовавшейся остова дырки Na $2p^+$ в запрещенную зону полупроводника CsAu. Образовавшаяся дырка Na $2p^+$ нейтрализуется электронами из валентной зоны CsAu (9) с переходом электрона из валентной зоны в вакуум (5). Нейтрализация дырки Na $2p^+$ за счет перехода с уровня Cs $5s$ маловероятна из-за большого расстояния между атомами Na и Cs. Нейтрализация дырки Na $2p^+$ возвращает локальное состояние E_{L1} в зону проводимости (10). Далее электроны в зоне проводимости могут быть захвачены потенциальным полем остова Na^+ с образованием нейтрального атома Na^0 в адсорбированном слое Na (7). Образованный при этом атом Na^0 , увеличившийся в объеме (по сравнению с ионом Na^+) выталкивается из адсорбированного слоя Na на поверхности CsAu.

Аналогичные процессы приводят к десорбции атомов Cs (они не показаны на схеме). В этом случае электрон в зоне проводимости захватывается потенциальным полем остова Cs^+ с образованием нейтрального атома Cs^0 в 2D-слое CsAu. Образованный при этом атом Cs^0 , увеличившийся в объеме (по сравнению с ионом Cs^+) выталкивается из 2D-слоя CsAu.

Следует отметить, что все процессы происходят в интерфейсе Na/CsAu.

4. Заключение

Впервые исследована электронно-стимулированная десорбция атомов щелочного металла с поверхности интерметаллида золота с другим щелочным металлом на примере адсорбционной системы Na/CsAu. Предложена модель ЭСД атомов Na, иллюстрирующая электронные переходы в процессе ЭСД атомов натрия.

Процесс ЭСД затрагивает возбуждение остова уровней адсорбента CsAu (Cs $5s$ и Au $5p_{3/2}$), и возбуждение остова уровней в слое адсорбированного натрия (Na $2p$). ЭСД атомов Na при возбуждении уровня Au $5p_{3/2}$ наблюдается во всем диапазоне доз напыления натрия. Возбуждение остова уровней Cs $5s$ и Na $2p$

при ЭСД атомов Na наблюдается только при малых дозах напыления Na, что связано с уменьшением расстояния между адатомами Na и нейтрализацией возбужденных состояний за счет состояний в адсорбированном слое. Уменьшение выхода ЭСД атомов Na при больших дозах напыления Na связано с тем, что второй слой атомов Na препятствует десорбции атомов Na из интерфейса Na/CsAu. В распределении по кинетическим энергиям видно два пика, которые связаны с десорбцией атомов Na из слоя Na в интерфейсе Na/CsAu.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] A.R. Paul, M. Mukherjee, D. Singh. Cryst. Res. Technol. **57**, 2100159 (2022).
- [2] P.Y. Yeh, J.C. Huang, J.S.C. Jang, C.T. Pan, C.H. Chen, C.H. Lin. J. Med. Biol. Eng. **42**, 800 (2022).
- [3] M. Zhou, C. Li, J. Fang. Chem. Rev. **121**, 2, 736 (2021).
- [4] L. Rößner, M. Armbrüster. ACS Catal. **9**, 2018 (2019).
- [5] Y. Jiang, Y.C.T. Liu. Intermetallics **93**, 217 (2018).
- [6] W.E. Spicer, A.N. Sommer, J.G. White. Phys. Rev. **115**, 1, 57 (1959).
- [7] M. Aycibin, E.K. Dogan, S.E. Gulebaglan, M.N. Secuk, B. Erdinc, H. Akkus. Comput. Condens. Matter **1**, 32 (2014).
- [8] Ю.А. Кузнецов, М.Н. Лапушкин. ФТТ **65**, 7, 1218 (2023).
- [9] В.Н. Агеев, Ю.А. Кузнецов, Н.Д. Потехина. ФТТ **50**, 8, 1524 (2008).
- [10] Yu. Kuznetsov, M. Lapushkin. Vacuum **212**, 112050 (2023).
- [11] В.Н. Агеев, Ю.А. Кузнецов, Н.Д. Потехина. ФТТ, **52**, 9, 1828 (2010).
- [12] J.A. Rodriguez, J. Hrbek, M. Kuhn, T.K. Sham. J. Vac. Sci. Technol. A **11**, 4, 2029 (1993).
- [13] M.V. Knat'ko, M.N. Lapushkin, V.I. Paleev. Phys. Low-Dimens. Struct. **9–10**, 57 (2001).
- [14] J.L. LaRue, J.D. White, N.H. Nahler, Z. Liu, Y. Sun, P.A. Pianetta, D.J. Auerbach, A.M. Wodtke. J. Chem. Phys. **129**, 2, 024709 (2008).
- [15] J.V. Barth, R.J. Behm, G. Ertl. Surf. Sci. **341**, 1–2, 62 (1995).
- [16] K. Takemura, H. Fujihisa. Phys. Rev. B, **84**, 1, 014117 (2011).
- [17] E.J. Kwolek, R. Widmer, O. Gröning, O. Deniz, H. Walen, C.D. Yuen, W. Huang, D.L. Schlagel, M. Wallingford, P.A. Thiel. Inorg Chem. **54**, 3, 1159 (2015).
- [18] J.V. Barth, R.J. Behm, G. Ertl. Surf. Sci. Lett. **302**, L319 (1994).
- [19] P.A. Dementev, E.V. Dementeva, M.N. Lapushkin, S.N. Timoshnev. Thin Solid Films **794**, 140291 (2024).
- [20] В.Н. Агеев, Е.Ю. Афанасьева. ФТТ **48**, 8, 2217 (2006).
- [21] М.В. Кнат'ко, М.Н. Лапушкин, В.И. Палев. ЖТФ **68**, 10, 108 (1998).
- [22] М.В. Кнат'ко, М.Н. Лапушкин. ЖТФ **92**, 9, 1430 (2022).
- [23] V.N. Ageev. Prog. Surf. Sci. **47**, 1–2, 55 (1994).
- [24] T.E. Madey. Surf. Sci. **299/300**, 824 (1994).
- [25] R.D. Ramsier, J.T. Yates Jr. Surf. Sci. Rep. **12**, 6–8, 246 (1991).

- [26] T.E. Madey, S.A. Joyce, A.L. Johnson. Surfaces as Determined Using Electron-Stimulated Desorption. In: Interaction of Atoms and Molecules with Solid Surfaces / Ed. V. Bortolani, N.H. March, M.P. Tosi. Springer New York, N.Y. (2013). P. 459.
- [27] A.D. Pelton. Bull Alloy Phase Diagr. **7**, 2, 136 (1986).
- [28] U.Kh. Rasulev, E.Ya. Zandberg. Prog. Surf. Sci. **28**, 3–4, 181 (1988).
- [29] Э.Я. Зандберг. ЖТФ **65**, 9, 1 (1995)
- [30] Ю.А. Кузнецов, М.Н. Лапушкин, Н.Д. Потехина. Письма в ЖТФ **42**, 12, 14 (2016).

Редактор Е.Ю. Флегонтова