Uzbek Journal of Physics

Vol.21(№3) 2019 PP.158-160

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ СВОБОДНЫХ НАНОПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ Si-Cu

И.О. Касимов[1], Б.Е. Умирзаков[2], З.А. Исаханов[2], М.К. Рузибаева[2], Р. Курбанов[2]

[1]Ташкентский государственный технический университет, Университетская 2, Ташкент, Узбекистан; ftmet@rambler.ru

[2]Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Дурмон йули 33, 100125 Ташкент, Узбекистан; za.isakhanov@gmail.com

(Получена 24.12.2018)

Бу ишда электронларнинг характеристик энергия йўқотиш спектросопияси (ЭХЭЙС) усули билан, сиртида ҳар хил қалинликдаги (d_{Si}≈50–400 Å) Si нанопленкаси бўлган Cu(100) нинг таркиби, электрон структураси ўрганилган. Қалин ва юпқа эркин пленкаларда валент электронларнинг зичлик ҳолати сезиларли даражада бир-биридан фарқ қилиши кўрсатилди.

В работе приведены экспериментальные результаты, полученные методом спектроскопии характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ), по изучению состава, электронной структуры Cu(100) с поверхностной нанопленкой Si различной толщины (d_{Si}≈50–400 Å). Показано, что плотности состояний валентных электронов толстой и свободной тонкой пленок заметно отличаются друг от друга.

In this paper, experimental results obtained by the method of spectroscopy of the characteristic energy loss of electrons are presented to study the composition and electronic structure of Cu(100) with silicon surface nanofilms of various thickness (d_{Si}≈50–400 Å). It has been shown that the density of the valence electron states in thick and free thin films differ noticeably from each other.

Введение. В настоящее время широко исследуется кремний с нанопленкой и нанокристаллами силицидов металлов, а также нанопленочные многослойные системы Si-Me-Si-Me, на основе которых разрабатываются современные приборы микро- и наноэлектроники, спинтроники, оптоэлектроники, солнечной энергетики и т.д.

Изучению состава и структурных свойств нанопленочных систем типа Si-Me посвящено большое число работ. Однако свободные тонкопленочные структуры Si/Me до сих пор остаются мало изученными. Ранее нами [1, 2] и другими авторами [3, 4] были всесторонне изучены состав и структура свободных тонких моно- и поликристаллических пленок Cu и Ag толщиной от 200 Å до 1000 Å, используя методы ЭОС, СХПЭЭ, ВИМС. В данной работе впервые приведены экспериментальные результаты, полученные методом СХПЭЭ, по изучению состава, электронной структуры Cu(100) с поверхностной нанопленкой Si различной толщины (d_{Si}≈50–400 Å).

Методика исследований. Тонкие монокристаллические пленки меди получены методом вакуумного испарения на поверхности искусственно выращенного кристалла NaCl(100) при T≈350–450 К в вакууме не хуже 10^{-7} Торр [5]. На этой же установке для устранения различных дефектов получаемую пленку отжигали в вакууме при T≈650–700 К в течение 1.5–2 ч. Затем полученную пленку

с подложкой опускали в дистиллированную воду, отделяли от подложки и вылавливали медной сеткой с прозрачностью 90–95%.

В основном использовали пленки Cu(100) с d≈450 Å, с неоднородностью по толщине не более 3%. Пленка кремния напылялась на поверхность пленки Cu(100) методом распыления Si электронной бомбардировкой. Толщину пленки кремния варьировали в пределах 50–500 Å. Толщину пленок Cu и Si определяли по скорости нанесения пленки, по зафиксированному времени осаждения (сначала проводили контрольные измерения на эталонных пленках). Скорость нанесения пленки Cu составляла ~20 Å/c, а Si 8–10 Å/c, что обеспечивало получение незагрязненной и качественной пленки при вакууме ~10^{-7} Торр.

Основные результаты и их обсуждение. Для исследования были подготовлены образцы Cu(100) с нанопленками Si толщиной 5, 10 и 40 нм. Во всех случаях толщина пленки Cu составляла 45 нм. Эти образцы обезгаживали при T=750 К в течение 2–3 ч при вакууме не хуже, чем 10^{-6} Па [5].

На рис. 1 приведены спектры ХПЭЭ исследованных образцов, снятые при начальной энергии E_p=300 эВ. В спектре чистой пленки Cu(100) обнаруживаются интенсивные пики с потерей энергии ΔE: 7.3; 10.3; 17.6 и 21.6 эВ. Структура, форма, интенсивность и число пиков этого спектра существенно отличаются от структуры спектра для массивной пленки Cu(100), приведенного в [2]. Однако энергетическое положение большинства пиков приблизительно совпадает. При напылении Si толщиной d=5 нм интенсивность пика ΔE = 10.3 эВ резко уменьшается, другие пики, характерные для Cu, полностью исчезают и появляются новые пики. При этом вследствие взаимодиффузии (после прогрева при 700 К) на поверхности Cu(100) формируется поликристаллическая пленка силицида с примерным составом Cu_2Si_3 [5]. При $d \geq$ 10 нм формируется трехслойная система Si-Cu_2Si_3-Cu(100). В спектре ХПЭ появляются пики «чистого» Si, который полностью устанавливается при $d \approx$ 30–40 нм (рис. 1, верхняя кривая).

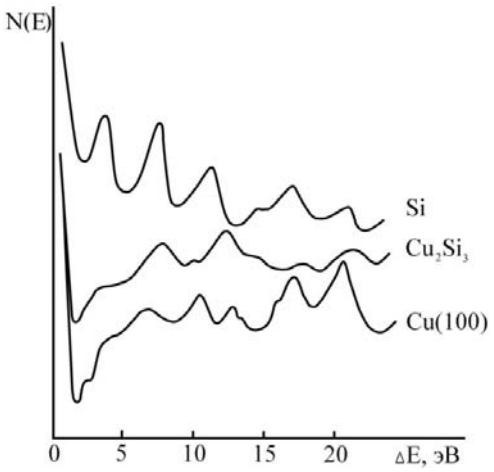


Рис. 1. Спектры ХПЭЭ при E_p = 300 эВ для свободных пленок: Cu(100), Cu_2Si_3/Cu и Si/Cu_2Si_3/Cu.

На основе анализа спектров ХПЭЭ совместно с данными ОЭС нами определены энергетические положения основных пиков в спектре ХПЭЭ, связанных с возбуждением плазменных колебаний (см. таблицу).

Из таблицы видно, что энергии возбуждения плазменных колебаний меди, силицида меди и кремния существенно отличаются друг от друга, их значения близки к значениям для массивных пленок Cu, Cu_2Si_3 и Si. Однако в массивных пленках в спектре Si содержится ряд пиков с энергиями 3.3; 5.5; 6.7 и 9.7 эВ, обусловленные межзонными переходами. В случае свободной пленки вместо этих

Таблица. Основные пики в спектре ХПЭЭ образцов, связанных с возбуждением плазменных колебаний.

Образец	$\hbar\omega_s$, эВ	$\hbar\omega_v$, эВ	$2\hbar\omega_s$, эВ	$\hbar\omega_s+\hbar\omega_v$, эВ	$2\hbar\omega_v$, эВ
Cu(100)	7.3	10.3	14.5	17.6	21.6
Cu_2Si_3, поликр.	8.5	12.6	17.5	21.8	–
Si, поликр.	10.4	17	21.3	28	–

пиков обнаруживаются 2 пика с энергиями 3.6 и 7.5 эВ. По-видимому, плотности состояний валентной зоны и зоны проводимости тонких свободных пленок Si отличаются от таковых для толстых пленок.

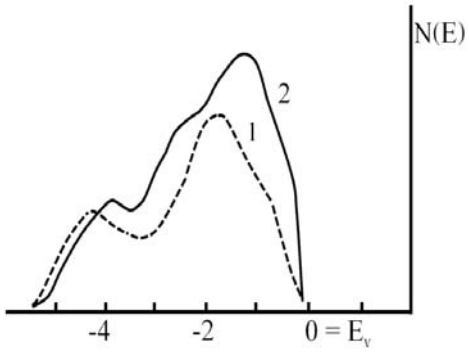


Рис. 2. Спектры фотоэлектронов, снятые при энергии $h\nu$=10.8 эВ для поликристаллических пленок кремния: *1* – толстая пленка, $d\approx$1 мкм; *2* –свободная пленка, $d\approx$40 нм.

На рис. 2 приведены спектры фотоэлектронов для массивной и свободной пленок Si, снятые при $h\nu$=10.8 эВ. Они хорошо отражают плотности состояний валентных электронов исследуемого объекта. Видно, что ширины спектров этих пленок практически одинаковы, однако их плотности состояний заметно отличаются. Если учесть, что глубина выхода фотоэлектронов в области энергии $h\nu$=10–15 эВ составляет 60–80 Å, то влиянием подложки на плотности состояний можно пренебречь. По-видимому, это отличие связано с отличием кристаллических решеток отдельных блоков массивной пленки от свободных пленок Si.

Таким образом, в работе впервые методом спектроскопии ХПЭЭ и УФЭС изучена электронная структура тонких свободных пленок Cu_2Si_3 и Si. Показано, что плотности состояний валентных электронов толстой и свободной тонкой пленок заметно отличаются друг от друга. По нашему мнению, это отличие связано с отличием кристаллических решеток отдельных блоков массивной пленки от свободных пленок Si.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.А. Алиев, З.А. Исаханов, Изв. АН УзССР, сер.физ.-мат., №5, 82 (1987).
2. А.А. Алиев, З.А. Исаханов, М.К. Рузибаева, Поверхность. Рентген., синхротрон. и нейтрон. исследования №2, 56 (2012).
3. Л.С. Палатник, М.Я. Фукс, В.М. Косевич. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок (Москва, Наука, 1972).
4. K. Wakashima, M. Fukamachi, S. Nagakura, J. Appl. Phys. (Japan) № 8, 1167 (1969).
5. Б.Е. Умирзаков, З.А. Исаханов, М.К. Рузибаева, З.Э. Мухтаров, А.С. Халматов, ЖТФ **85**, №4, 123 (2015).