

05;11;12

Размерный эффект температуры фазовых превращений в контакте тонких металлических пленок

© П.К. Коротков,¹ Р.А. Мусуков,¹ Т.А. Орквасов,¹ В.А. Созаев^{1,2}¹ Кабардино-Балкарский государственный университет, 360004 Нальчик, Россия

e-mail: pkorotkov1984@rambler.ru

² Северо-Кавказский горно-металлургический институт, 36202 Владикавказ, Россия

e-mail: sozaevv@kbsu.ru

(Поступило в Редакцию 20 июня 2007 г.)

Экспериментально установлено, что с уменьшением толщины контактируемых пленок свинец–висмут и свинец–олово температура контактного плавления понижается.

PACS: 68.18.Jk

В контакте разнородных металлических пленок возможно протекание фазовых превращений. Если на диаграмме состояния граничащих металлов существует эвтектика, то при температуре, близкой к эвтектической, будет наблюдаться контактное плавление.

Изучение размерного эффекта температуры контактного плавления (КП) представляет интерес в связи с развитием гипотезы о том, что начальную стадию КП можно рассматривать как низкоразмерный эффект [1,2], подобные исследования также необходимы для более полного и правильного понимания механизмов трения на наноуровне (нанотрибология), для разработки и оптимизации нанотехнологий, например, технологии получения многослойных тонкопленочных систем, технологии получения объемных наноматериалов методом жидкофазного спекания, технологии получения проводящих микроструктур на кремнии с использованием наночернил (на основе нанопорошков золота) [3] и т.д.

Экспериментально размерный эффект температуры контактного плавления наблюдался в ряде работ [4–8] на двуслойных пленках. В работе [4] для пленок висмут–олово толщиной 32, 20 и 10 нм наблюдалось понижение эвтектической температуры на 5, 10 и 18 К соответственно. Метод получения многослойных пленок [4] использовался для изучения КП также в работах [5,6]. В работе [7] обнаружено снижение температуры плавления металлических пленок с уменьшением их толщины в системах Al–Me–Al (Me: In, Sn, Bi, Pb). В работе [8] по скачку электросопротивления в момент КП нами обнаружен размерный эффект температуры КП в тонкопленочной системе олово–индий.

В настоящей работе изучается размерный эффект температуры КП в тонкопленочных системах: свинец–висмут и свинец–олово.

Пленки Pb, Bi и Sn напылялись на стеклянные подложки марки К-8 диаметром 5 мм. Подложки предварительно промывались и кипятились в дистиллированной воде, затем обрабатывались в парах изопропилового спирта — 10 min.

Для напыления использовались металлы высокой чистоты (чистотой 99.999%). Напыление производилось на установке УВН-3М методом термического испарения в вакууме 10^{-5} mm Hg. Образец испаряемого вещества заправлялся в испаритель, который изготавливался из листового молибдена толщиной 100 μm в форме лодочки. Расстояние от испарителя до подложки 10 см. При откачке использовались механический и парамасляный насосы. Вначале напылялась пленка свинца, затем перпендикулярно ей пленка олова (или висмута). При этом образовывалась зона контакта пленок размером 5×5 mm.

Толщина пленок измерялась микроинтерферометром МИИ-4. На пленках в зоне контакта 4-зондовым ме-

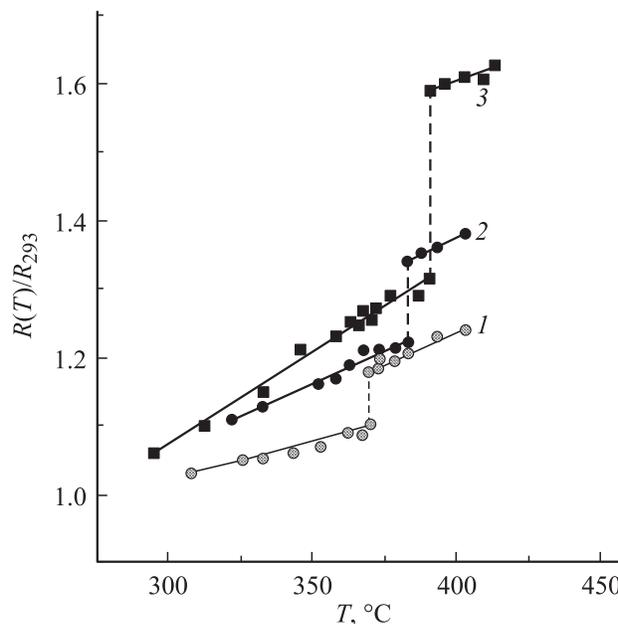


Рис. 1. Температурная зависимость относительного электросопротивления $R(T)/R_{293}$ в контакте пленок Pb–Bi (толщина пленки 1 — 150, 2 — 200, 3 — 250 нм).

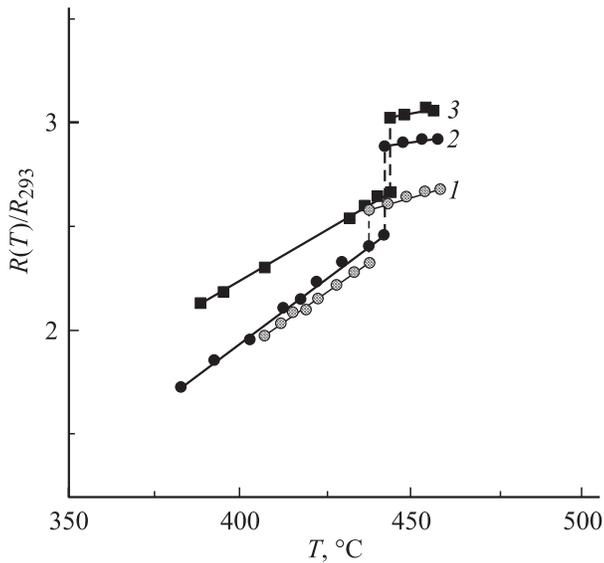


Рис. 2. Температурная зависимость относительного электро-сопротивления $R(T)/R_{293}$ в контакте пленок Pb–Sn (толщина пленки 1 — 150, 2 — 200, 3 — 250 nm).

тодом измерялось электрическое сопротивление R в зависимости от температуры с использованием потенциометра Р363-2. По скачку электро-сопротивления при плавлении оценивалась температура КП. Для устранения окисления пленок при нагревании образцы помещались в специальную ячейку, заполненную кремнийорганическим маслом ПФМС-2.

На рис. 1 показаны температурные зависимости электро-сопротивления двуслойной пленки Pb–Bi (снизу свинец, сверху висмут), а на рис. 2 — двуслойной пленки Pb–Sn (снизу свинец, сверху олово). Из рисунков видно, что при $T_{\text{КП}}$ наблюдается скачек сопротивления. Температуры КП оказались равными для системы Pb–Bi 118°C (пленка толщиной $h = 250$ nm), 110°C ($h = 200$ nm), 97°C ($h = 150$ nm), а для системы Pb–Sn 172°C ($h = 250$ nm), 169°C ($h = 200$ nm), 165°C ($h = 150$ nm).

Известно, что температура эвтектики в системе Pb–Bi равна $T_E = 124^\circ\text{C}$, а в системе Pb–Sn — $T_E = 184^\circ\text{C}$ [19]. Поэтому понижение температуры плавления с уменьшением толщины двуслойной пленки можно рассматривать как размерный эффект температуры КП. Полученные экспериментальные данные по температуре КП для пленок различной толщины удовлетворительно описываются размерной зависимостью [10]:

$$\frac{T(h)}{T(\infty)} = \exp \left[-\frac{A}{h} \left(1 - \frac{\delta}{h} \right) \right],$$

где δ — постоянная Толмена, $A = 2\sigma(\infty)\Omega/\lambda$, λ — теплота плавления, $\sigma(\infty)$ — межфазная энергия, $T(\infty)$ — температура КП для массивных образцов, Ω — атомный объем, h — толщина пленки.

Список литературы

- [1] Савинцев П.А., Знаменский В.С., Зильберман П.Ф., Савинцев А.П. // Вестн. Каб.-Балк. гос. ун-та. Сер. физ.-мат. науки. 1996. Вып. 1. С. 236–240.
- [2] Ахжубеков А.А., Байсултанов М.М., Ахжубекова С.Н. // Изв. вузов Северо-Кавказского региона. Естественные науки. Приложение. 2005. № 9. С. 56–63.
- [3] Jaewon C., Seunghwan K., Nicole Bieri R., Gridoropoulos C.P., Poulidakos D. // Appl. Phys. Lett. 2004. Vol. 84. N 5. P. 801–803.
- [4] Гладких Н.Т., Чижик С.П., Ларин В.И., Григорьева Л.К., Сухов В.Н. // ДАН СССР. 1985. Т. 280. № 4. С. 858–860.
- [5] Гладких Н.Т., Кунченко А.В., Лазарев В.И., Самсоник А.Л., Сухов В.Н. // Металлофизика и новейшие технологии. 1995. Т. 15. С. 280.
- [6] Gladkikh N.T., Kunchenko A.V., Larin V.I., Lazarev V.I., Samsonik A.L., Surkov V.N. // Funct. Mater. 1999. Vol. 6. P. 958.
- [7] Gladkikh N.T., Bogatyrenko S.I., Kryshchal A.P., Anton R. // Appl. Surf. Sci. 2003. Vol. 219. P. 338–346.
- [8] Коротков П.К., Мусуков Р.А., Орквасов Т.А., Созаев В.А. // Мат. 9-го Междунар. симп. „Порядок, беспорядок и свойства оксидов (ОДРО)“. Ростов-на-Дону, 2006.
- [9] Диаграммы состояния двойных металлических систем / Под ред. Н.П. Лякишева. 2001. Т. 3. Кн. 1. С. 57.
- [10] Коротков П.К., Орквасов Т.А., Созаев В.А. // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. Вып. 2. С. 28–32.