

06;11;12

Исследование химического взаимодействия сурьмы с эвтектическим композитом в системе алюминий–никель методом спектроскопии характеристических потерь энергии электронов

© Л.И. Антонова, В.П. Денисов, Ю.А. Фадин

С.-Петербургский государственный университет

Поступило в Редакцию 9 марта 1999 г.

Методом спектроскопии характеристических потерь энергии электронов исследовано взаимодействие тонких слоев сурьмы с подложкой эвтектического композита в системе Al_3Ni . Обнаружено, что сурьма вступает в химическое взаимодействие с подложкой, что дает возможность управления поверхностной активностью основного материала.

Композитные материалы на основе эвтектик вызывают значительный интерес как перспективные материалы для особо ответственных конструктивных применений. Одним из таких материалов является эвтектический композит в системе алюминий–никель. К его характерным отличиям относятся высокая коррозионная стойкость и большая величина модуля Юнга, достигающая 187 GPa [1]. Одной из проблем, связанных с применением данного материала, остается надежное соединение элементов. Как известно, эта проблема характерна для любых алюминиевых сплавов и может считаться обратной стороной их стойкости к внешним воздействиям [2].

Целью настоящей работы является исследование возможности управления поверхностными свойствами эвтектического композита путем нанесения активных пленок. Образцы эвтектик были изготовлены по обычной технологии и представляли собой цилиндры диаметром 3–5 mm, состоящие из алюминиевой матрицы, пронизанной большим числом монокристаллических нитей соединения Al_3Ni . Цилиндры

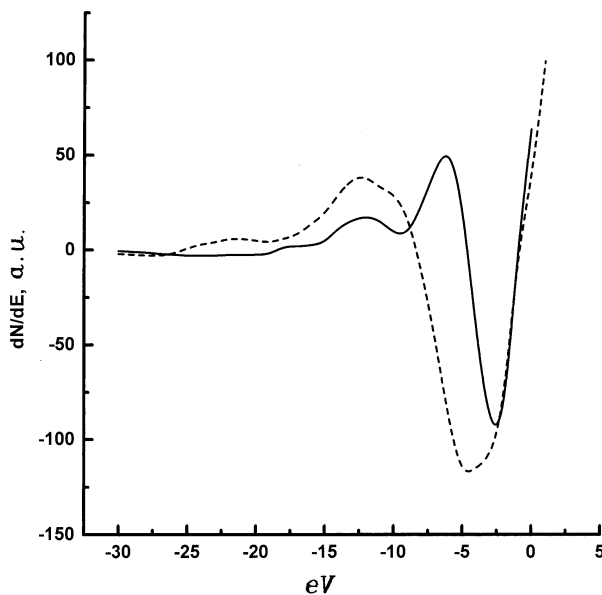


Рис. 1. Спектр характеристических потерь энергии эвтектического композита Al_3Ni . Энергия первичных электронов, eV, сплошная линия — 246, пунктир — 470.

распиливались алмазным диском и подвергались химической обработке в растворе соляной кислоты. После этого они размещались в вакуумной камере, допускавшей исследование электронных спектров вторичной эмиссии, в том числе Оже-спектров и спектров характеристических потерь энергии, и напыление пленок алюминия и сурьмы. После обычной откачки и обезгаживания при температуре 150°C в системе достигался вакуум на уровне 10^{-7} Pa.

Оже-спектры образцов содержали основные пики алюминия, никеля, кислорода и углерода, причем последний был во всех случаях достаточно велик. По-видимому, наблюдаемый углерод был внесен на стадии роста образца, поскольку контрольные образцы такого пика не обнаруживали. Пики характеристических потерь энергии (ХПЭ) вторичных электронов не соответствовали характеристическим потерям ни

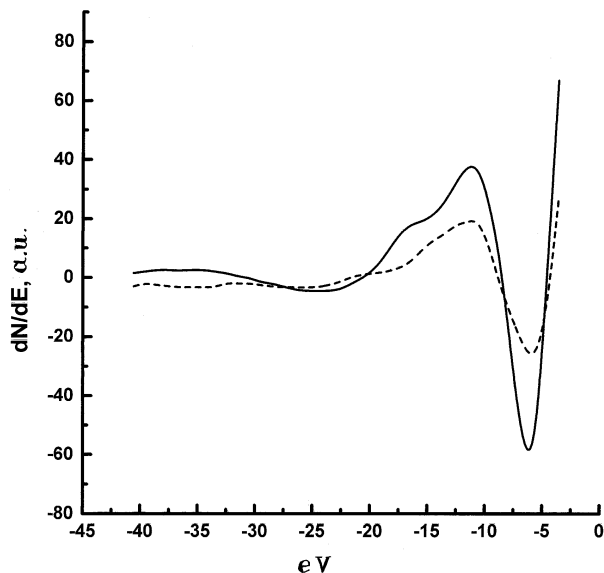


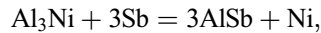
Рис. 2. Спектр характеристических потерь энергии эвтектического композита Al_3Ni с нанесенным слоем сурьмы толщиной 3 нм. Энергия первичных электронов, eV: сплошная линия — 246, пунктир — 470.

одного из присутствующих материалов, равно как и их оксидам (рис. 1). Их особенностью была зависимость положения от энергии первичного электронного пучка. Данное явление предположительно связано с возбуждением электронных уровней d -зоны, которая у данного материала весьма развита [3], хотя нельзя исключить возможность возникновения некоторых колебаний плазмонного типа в тонких нитях Al_3Ni . Как известно, в структурах пониженной размерности, например тонких слоях, плазмонные колебания могут иметь весьма специфические свойства [4].

Нанесение алюминия приводило к вполне предсказуемому результату. На начальных стадиях исчезали Оже-пики углерода и кислорода, резко изменялась структура ХПЭ. Оже-пики никеля сохранялись до самых больших толщин наносимой пленки. При больших толщинах пленки алюминия появлялась характерная структура объемных и поверхностных плазмонов алюминия.

Существенно интереснее поведение системы при нанесении тонких слоев сурьмы. Уже при нанесении примерно десяти ангстрем сурьмы, когда Оже-спектр оставался практически постоянным, за исключением появления пика сурьмы, резко изменялся спектр ХПЭ. Его общий вид трансформировался, а положение основной особенности стабилизировалось на уровне 8.5 eV (рис. 2). Следует отметить, что данное положение ХПЭ может быть связано только с никелем, для которого зарегистрированы ХПЭ, равные 8.5 eV [5], однако появление сформированных кластеров металлического никеля в данном процессе представляется маловероятным. При выдерживании образца с напыленной пленкой сурьмы при комнатной температуре в течение 12–16 часов структура ХПЭ возвращалась к первоначальной, равно как и Оже-спектры.

Наиболее вероятным объяснением наблюдаемых явлений может быть протекание химической реакции типа



происходящее с выделением значительного количества энергии. Теплота образования соединения AlSb составляет 49 kJ/mol, а Al₃Ni только 40 kJ/mol, что соответствует выделению примерно 0.16 eV на атом, участвующий в реакции. Наблюдаемый спектр ХПЭ, на наш взгляд, относится именно к антимониду алюминия.

Подобные реакции в системах Al–Ni наблюдались неоднократно, хотя и при несколько повышенных температурах [6], а в работе [7] содержится упоминание о возможности протекания подобных реакций и при комнатной температуре. В случае наших образцов эти процессы тем более вероятны, что поверхность чрезвычайно развита, а теплоизоляция тонких нитей может приводить к локальному разогреву материала за счет выделения энергии в упомянутой реакции. Исчезновение наблюдаемой структуры ХПЭ связано, вероятно, с уходом сурьмы в глубь образца, т.е. поверхностной или объемной диффузией. Как известно, кристаллическая решетка Al₃Ni весьма рыхлая и междоузельная диффузия представляется вполне вероятной. Нельзя исключить и диффузию по границам зерен, т.е. алюминиевой матрицы и Al₃Ni нитей.

Таким образом, нанесение слоя сурьмы оказывает чрезвычайно сильное воздействие на поверхностную активность эвтектического композита в системе алюминий–никель и может быть использовано для контроля его поверхностных свойств.

Список литературы

- [1] *Fukui Y., Takashima K.* // 3-rd International Symposium on Structural and Functional Gradient Materials. Laussane: Switzerland, 1994. P. 293.
- [2] *Dunlop H.M., Benmalek M.* // J. Physique IV, Colloque C6, 7, C6-163. 1997.
- [3] *Cubiotti G. et. al.* // J. Phys.: Cond. Matter. 1996. V. 8. P. 2549.
- [4] *Cheng-Min Lee, Chin-Hsiung Liao* // Jap. J. Appl. Phys. 1996. V. 35. P. 5448.
- [5] *Robins J.L., Swan J.B.* // Proc. Phys. Soc. 1960. V. 76. P. 857.
- [6] *Huttel Y., Soukiassian P., Mungat P.S., Hurych Z.* // Surface Sci. 1996. V. 352-354. P. 845.
- [7] *Petit E.J., Caudano R.* // Appl. Surface Sci. 1990. V. 46. P. 357.