

АНАЛИЗ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Ключевые слова: плазменные технологии, порошки, методы получения.

Представлен анализ плазменных технологий получения интерметаллических и других соединений.

Keywords: plasma technologies, powders, obtaining methods.

The analysis of plasma technologies of obtaining intermetallic and other compounds is submitted.

В настоящее время основными направлениями применения плазменных технологий с целью получения интерметаллических соединений являются следующие методы:

1. Термическое плазменное напыление.
2. Осаждение на подложку.
3. Плазменный синтез наноразмерных порошков.
4. Плазмохимическая модификация.
5. Микроплазменное напыление износостойких покрытий.
6. Плазмохимическая обработка порошков.
7. Другие электрофизические воздействия.

Все представленные методы с использованием плазмы, как инструмента воздействия на порошковые материалы направлены, как для повышения и улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств материалов, так и для создания новых материалов, в том числе, на основе интерметаллидов, нитридов, карбидов, а также их конфигураций. Так, например, термическое плазменное напыление является эффективным и недорогим методом для покрытия поверхностей, с изменением свойств [1-6]. Покрытия используются в широком диапазоне приложений: включая авиационные двигатели, автомобильные системы энергетического оборудования, химикотехнологическое оборудование, оборудование для мостов, наземных и морских турбин судов, медицинских инструментов, например, для ортопедии и стоматологии [7].

Одним из способов получения компактных интерметаллических материалов является осаждение на подложку [8].

При осаждении из плазмы для поддержания электрического разряда используется инертный газ. Непрерывность и толщину пленки, размеры кристаллитов в ней можно регулировать изменением давления газа и параметров разряда. В качестве источника ионов при осаждении покрытий из плазмы используют металлические катоды, обеспечивающие высокую степень ионизации (от 30 до 100 %); кинетическая энергия ионов составляет от 10 до 200 эВ, а скорость осаждения — до 3 мкм мин^{-1} .

В работе авторов [9,10], при воздействии на хром плазмой, полученной дуговым разрядом в аргоне низкого давления, наносили на медную подложку хромовую пленку со средним размером кристаллитов $\sim 20 \text{ нм}$. Пленка толщиной менее 500 нм имела аморфную структуру, а при большей толщине

находилась в кристаллическом состоянии. Высокая твердость (до 20 ГПа) пленки была обусловлена образованием сверхпересыщенных твердых растворов примесей внедрения (C, N) в хrome.

Широкое применение нашли ионно-плазменные покрытия. Нагрев подложки до 500-800 К позволяет сохранить нанокристаллическую структуру покрытия. Методы получения и свойства покрытий и пленок тугоплавких соединений подробно обсуждаются в обзоре [11].

При осаждении из плазмы, главным образом, применяют реактивные рабочие среды (смеси аргона с азотом или углеводородами при давлении $\sim 0,1 \text{ Па}$) и металлические катоды. Основные недостатки ионно-плазменного дугового распыления — образование мелких капель металла из-за частичного плавления катода и возможность попадания металлических капель в осаждаемые пленки.

Разновидностью осаждения из плазмы является магнетронное распыление, которое позволяет использовать катоды не только из металлов и сплавов, но и из различных соединений и снижать температуру подложки на 100-200 К и более. Это расширяет возможности получения аморфных и нанокристаллических пленок. Однако степень ионизации, кинетическая энергия ионов и скорость осаждения при магнетронном распылении ниже, чем при использовании плазмы электродугового разряда.

В работе [12] с помощью магнетронного распыления мишени $\text{Ni}_{0,75}\text{Al}_{0,25}$ и осаждения металлических паров на аморфную подложку получены интерметаллидные пленки Ni_3Al со средним размером кристаллитов $\sim 20 \text{ нм}$.

Полупроводниковые пленки получают также осаждением на подложку из коллоидных растворов. Этот метод включает в себя подготовку раствора, осаждение на подложку, сушку и отжиг. Методом осаждения наночастиц получены полупроводниковые пленки [13-17]. Наноструктурированные пленки, содержащие наночастицы различных полупроводников, можно нанести методом соосаждения [18].

При плазменном синтезе наноразмерных металлических порошков интересные свойства найдены в случае частиц с размером $< 50 \text{ нм}$ [19-21]. Тем не менее, их практические применения ограничены, поскольку массовое производство дорого и сложно.

Применение плазменной технологии является эффективным способом модификации

поверхностей материалов твердых тел различной природы [22-23]. Поверхность обрабатываемых тел не является идеально плоской, ее профиль представляет собой совокупность микронеровностей с относительно малым шагом. На шероховатой поверхности плотность поверхностного заряда выше на вершинах микронеровностей. Поэтому при высокочастотной плазменной обработке твердых тел происходит оплавление неровностей за счет воздействия энергии ионов, что приводит к полировке поверхностей и ее очистки от примесей [24]. Исследования в данной области показали, что при воздействии плазмы имеет место изменение параметров кристаллической решетки порошков металлов, обработанных методом низкотемпературной высокочастотной плазменной обработки [25-26]. Также в поверхностном слое металлов в небольших количествах могут содержаться атомы кислорода, углерода и водорода, что может оказать влияние на его окисление.

Особенности микроплазменного напыления наноструктурированных покрытий [27] свидетельствует, что введение в покрытия армирующих частиц позволяет существенно улучшить эксплуатационные свойства, по сравнению со свойствами покрытий, получаемых традиционным напылением порошков.

Плазмохимическая обработка металлических порошков позволяет повысить их коррозионную стойкость, а также материалов на их основе. Установлено, что в результате низкотемпературной плазменной обработки металлов происходят структурные изменения в поверхностных слоях. В работе [28] исследовалось влияние низкотемпературной плазменной обработки порошков железа на коррозионную стойкость в агрессивных средах. В качестве агрессивных сред при оценке коррозионной стойкости были использованы растворы 10%-ной соляной и 20%-ной серной кислот, а также пластовые воды (ГОСТ 9.506-87, pH=12). Исходя из условий эксплуатации и хранения была исследована устойчивость обработанных металлов к атмосферным воздействиям при влажности воздуха 86%, температуре 298 К в течение 30 дней, стойкость к окислению на воздухе модифицированных порошков металлов при температурах 370-1170 К.

Среди современных направлений исследования в области создания технологий получения интерметаллических соединений p, d металлов является метод электрофизического воздействия. Последнее в сравнении с вышеперечисленными методами, представлено весьма немногочисленными исследованиями [29,30].

Одной из разновидностей электрофизического воздействия получения интерметаллических соединений p, d металлов, является воздействие высокочастотного индукционного (ВЧИ) разряда пониженного давления, которое наряду с вышеизложенными методами имеет ряд преимуществ:

- сравнительно низкая энергоемкость;
- экологичность процесса;
- высокий временной показатель получения интерметаллических соединений.

Учитывая практическое отсутствие информации по данной проблеме представляется, целесообразным проведение серии экспериментальных и теоретических исследований процессов получения интерметаллических соединений p,d – металлов методом воздействия плазмы (ВЧИ) разряда пониженного давления на предшественники соответствующего элементного состава.

Литература

1. E.Turunen, T.Varis, *Surface coatings and technology*, Vol. [200], issue 16-17, (2006) P. 4987-4994
2. D.Chuanxian, C. Huang, L. Xuanyong, *Materials Park, Ohio, USA*, (2003) P. 455-458
3. L. Leblanc, *Materials Park, Ohio, USA*, (2003) P. 291-299
4. H. Luo, D.Goberman, *Materials Science & Engineering A, Vol.* [346], (2003) P. 237-245
5. C. Sang Ok, K. Didier, T. Filofteia L., *Surface Coatings and Technology. Vol.* [194], (2005) P. 215-224.
6. K. Jin-hong, Y. Hyun-seok, B. Kyeongho, *Current Applied Physics, Vol.* [6], issue 6 (2006), P. 1002-1006.
7. K.Yamada, Y.Tomono, J. Morimoto, *Materials in Refuse Incineration Environment, " Vacuum, Vol.* [65], No. 3- 4,(2002), P.533-540.
8. А.И. Гусев. *Успехи физических наук*. Том 168, 1, 55-83 (1998).
9. А.Е. Барг и др. *Металлофизика*. Том 9,4, 118 (1987).
10. Д.А. Дудко и др. *ДАН СССР*. Том 285, 1, 106 (1985).
11. Р.А. Андриевский. *Успехи химии*. Том 66, 1, 57 (1997).
12. V. Swygenhoven. *Nanostruct. Mater.* Том 6, 5-8, 739 (1995).
13. S.Hotchandani, P. Kamat. *Phys. Chem* Том 96, 16, 6834 (1992).
14. I. Bedjia, S. Hotchandani, *Phys Chem*. Том 97, 42, 11064; (1993); Том 98, 15, 4133 (1994).
15. B. O'Regan, M. Gratzel, D. Fitzmaurice. *Chem. Phys.* Том 183, 1, 89 (1991).
16. H.K. Yoshiki, A. J. Fujishima. *Electrochem. Soc.* Том 142, 2, 428 (1995).
17. L. Kavan. *Phys. Chem*. Том 97, 37, 9493 (1993).
18. K. Yamada. *J. Non-Cryst. Solids*. Том 100, 1-3, 316 (1988).
19. Ф. Buffat, J. P. Borel. *Phys. Tom* 13, 2287 (1976).
20. Пат. США 7648556 Y. L. Lee, J. W. Joung, K. J. Lee.
21. Пат. США 4376740 M. Uda, S. Ohno.
22. И.Ш. Абдуллин, В.С. Желтухин, И.Р. Сагбиев, М.Ф. Шаехов, *Модификация нанослаев в высокочастотной плазме*. Казан. гос. технол. ун-т, Казань, 2007. 356 с.
23. И.Ш. Абдуллин, Л.И. Абдулатипова, В.С. Желтухин, И.В. Красина, *Высокочастотная плазменная обработка в динамическом вакууме капиллярно-пористых материалов*. Казан. ун-т, Казань, 2004. 428 с.
24. И.Ш. Абдуллин, В.С. Желтухин, *Вестник Казан.гос. технол. ун-та*. 1, 172-179 (2003).
25. Коробков А.М., Бурдикова Т.В., Просянюк В.В., Суворов И.С., Евсюкова О.В., *III Всероссийская конференция. Современные проблемы пиротехники* (Сергиев Посад, Россия октябрь 20-22, 2004) *МИД Весь Сергиев Посад*, 2004. С.87-89.
26. Т.В. Бурдикова, А.М. Коробков, В.В. Просянюк, И.С. Суворов, О.В. Бабушкина. *Международная научно-техническая и методическая конференция. Современные проблемы технической химии*, (Казань, Россия). Казан.гос. технол. ун-т, 2007. С. 351-354.
27. А.В.Красиков, Н.В.Яковлева, М.А.Юрков, Т.И.Бобкова, С.Е.Шолкин. *Вопросы материаловедения*. 2(66), 196 (2011).
28. Бурдикова Т.В., Бабушкина О.В., Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф. *Международная научная конференция. Плазменные технологии исследования, модификации и получения материалов различной физической природы*. (Казань, Россия). Казан.гос. технол. ун-т 2012. С. 321-324.
29. В.А.Сурков, И.Ш.Абдуллин, А.Ф.Дресвянников, Т.З. Лыгина, Н.И.Наумкина, *Перспективные материалы*, 5, 79-83 (2013).
30. В.А.Сурков, *Вестник двигателестроения – Запорожье АО «Мотор СИЧ*, 1, 121-126 (2013).