

ПРИМЕНЕНИЕ ЭПФ В МИКРО-И НАНОМЕХАНИКЕ

Дильмиева Э.Т.¹, Каманцев А.П.^{1,5}, Калашников В.С.¹, Коледов В.В.^{1,5}, Мазаев П.В., Маширов А.В.¹, Афонина В.С.¹, Шавров В.Г.¹, Иржак А.В.², Дикан В.², Шеляков А.В.³, Ситников Н.Н.³, Альбертини Ф.⁴, Мусабилов И.И.¹

¹Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

²НИТУ МИСИС, Москва, Россия

³НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

⁴Институт новых материалов для магнетизма и электроники ЦНИ, Парма, Италия

⁵Лаборатория сильных магнитных полей и низких температур ПАН, Вроцлав, Польша

victor_koledov@mail.ru

Цель доклада – дать обзор исследований фундаментальных проявлений термоупругого мартенситного перехода (ТМП) и эффекта памяти формы (ЭПФ) на микро- и наноуровне масштабов размера образца интерметаллида; сравнить технологические подходы к конструированию микро- и наноразмерных устройств с ЭПФ, а также оценить возможные перспективы их применений. Проблема фундаментального предела снизу на размер образца сплава, ограничивающего проявления ТМП и ЭПФ, обсуждается во многих работах [1-3]. Выполнен ряд уникальных экспериментов, в которых изготовлены нано-образцы сплавов с ЭПФ (рис. 1-3) и проведены прямыми методами рентгеновской и электронной дифракции, а также дилатометрии исследования ТМП и одностороннего ЭПФ. Показано, что уменьшение размера образцы (по объему или по одному из измерений) до 100 нм и ниже вызывает снижение температуры ТМП и дальнейшее его исчезновение. Предлагаются модели для описания этих явлений [4]. Следует отметить, что теоретические расчеты предсказывают, что на нанометровых масштабах, псевдопластичность снова становится возможной с учетом поверхностных сил даже в чистых металлах, например Cu[5].



Рисунок 1. «Микростолбик» из сплава Cu-Al-Ni с ЭПФ [1]

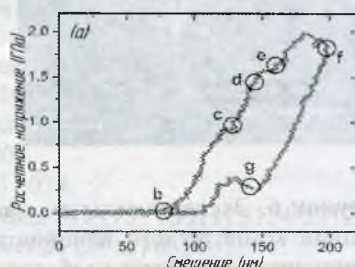


Рисунок 2. Кривая нагрузка - деформация (а) снятая в прямом эксперименте (б) на субмикронном образце сплава Ni-Ti с ЭПФ [2]



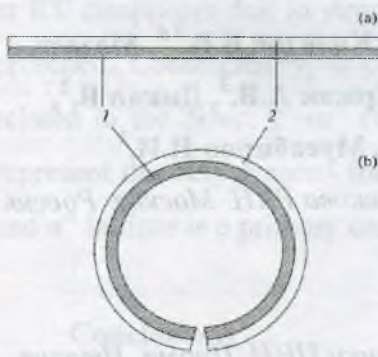


Рисунок 3. Принцип действия композита с ЭПФ 1- слой с ЭПФ, 2 – слой упругого металла. (а) сплав с ЭПФ в мартенсите (б) в аустените [6]



Рисунок 4. Обратимая деформация композитного субмикронного актюатора Ti_2NiCu/Pt . [7]

Основное препятствие при прямом изучении ЭПФ на микро уровне – достижение обратимых деформаций, в условиях, когда тренировка на двусторонний ЭПФ затруднена. В [6,7] предложен новый экспериментальный подход, основанный на создании слоистых композитов с

ЭПФ (рис. 3). Композит состоит из 2-х слоев, один из которых - предварительно псевдопластически растянутый слой сплава с ЭПФ, а второй - упругий слой обычного металла. При термоциклировании достигается реверсивная изгибная деформация композита при применении только одностороннего ЭПФ сплава. С помощью этого подхода экспериментально, стандартным методом селективного ионного травления и ионно-стимулированного осаждения из газовой фазы (FIB-CVD) (рис.4), изготовлены композитные актюаторы Ti_2NiCu/Pt . Толщина активного слоя с ЭПФ 140 нм, длина – 3 мкм, управляемый прогиб 230 нм. Управление осуществляется нагревом излучения полупроводникового лазера в диапазоне температур 40-60 С.

Большинство реальных конструкций микроустройств с ЭПФ изготовлены из пленок сплавов с ЭПФ, полученных методом магнетронного напыления [4]. Альтернативной технологией является изготовление их методом FIB-CVD из лент

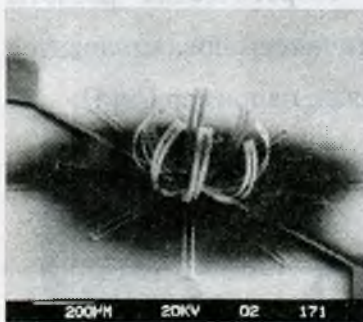


Рисунок 5. «Микроклетка» для удержания объектов на основе пленки $TiNi$ с ЭПФ [4]

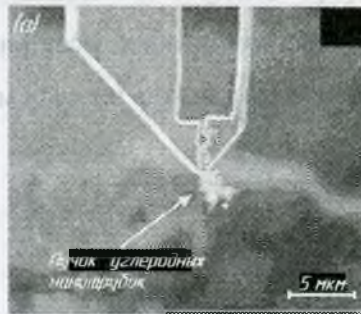


Рисунок 6. Эксперименты по манипулированию нанообъектами при помощи композитного нанопинцета с ЭПФ. (а) перенос УНТ, (б) манипулирование бionанообъектами[6,7]



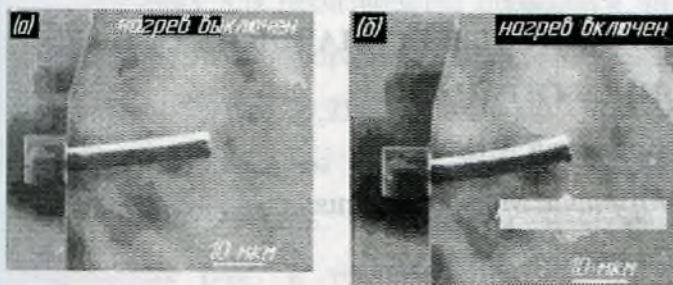


Рисунок 7. Композитный микроактуатор с ЭПФ на основе быстрозакаленной ленты Ni-Mn-Ga и слоя Pt. (а) – мартенсит, (б) аустенит. Управление возможно магнитным полем 8 Тл при $T = 56$ С. [10]



Рисунок 8. Наноактуатор из сплава Ni-Mn-Ga. Толщина слоя с ЭПФ / 120 нм, длина актуатора 8 мкм, температурный диапазон 300°C [9]

быстрозакленного сплава (БЗС) с ЭПФ [6,7]. Большой интерес вызывают попытки изготовить нано-актуаторы из ферромагнитных сплавов с ЭПФ, так как на их основе возможно, в принципе, управлением ЭПФ при постоянной температуре в магнитном поле. Такой актуатор создан в [9] методом электронной нано-литографии из пленки Ni-Mn-Ga. Неоднородность состава – труднопреодолимый недостаток технологии магнетронного напыления. В [9] не сообщается о

магнитном управлении наноактуатором, а интервал температур слишком велик 300 °С. В [10] создан композитный микроактуатор на основе БЗС Ni-Mn-Ga/Pt, управляемый магнитным полем 8 Тл (рис. 7).

Т.о., возможность использовать сплавы с ЭПФ для изготовления субмикронных устройств доказана. Главные проблемы: создание массовой технологии производства и поиск новых магнитных материалов с ЭПФ, способных при постоянной температуре работать в сравнительно небольших полях. Решение этих проблем позволило бы практически каждый прибор для наблюдения нанообъектов, например СЭМ, снабдить нанопинцетом с ЭПФ, превратив его в нанотехнологический комплекс, а в медицину и биологию внедрить рекордные по миниатюрности инструменты с ЭПФ.

Работа поддержана РФФИ, гранты № 12-08-01043, 12-07-00656, 13-07-12130, 14-07-31179, 14-07-00729.

1. J. San Juan, M.L. Nó / Journal of Alloys and Compounds **577S** (2013) S25–S29.
2. J. Ye et al. / Acta Materialia **58** (2010) 490–498.
3. H.X. Li et al. / Journal of Alloys and Compounds **588** (2014) 337–342.
4. Г.А. Малыгин / ФТТ **50** (2008) 1480.
5. W. Liang et al. / Nano Lett. **5** (2005) 2039.
6. A.V. Shelyakov, et al. / Thin Solid Films **519** (15), (2011) 5314–5317.
7. Zakharov D. et al. / Smart Mater. Struct. **21** (2012) 052001.
8. Y. Fu et al. / Sensors and Actuators A **112** (2004) 39.
9. Kohl et al. / Appl. Phys. Lett. **104**, (2014) 043111.
10. www.smwsm.org/microactuators/nimnga.html