

было 83 ат. %. Толщина магнито жесткого слоя (CoNi) оставляет $t_h = 53$ nm, а толщина магнитомягкого слоя (FeNi) $t_s = 72$ nm для всех пленок. Толщина немагнитного полупроводникового слоя была переменной и менялась в диапазоне $t_{Si} = 0 - 15$ nm. Измерения намагниченности проводились на установке MPMS-XL и на магнитооптической установке NanoMOKE-2 в диапазоне температур от гелиевых до комнатной. Электронно-микроскопические исследования (режим cross-section) показали наличие резкой границы раздела между слоем кремния и обоими магнитными слоями. Также было получено, что пленка CoNi была поликристаллической и находилась в гексагональной фазе.

Магнитные измерения показали, что в данной системе отношение коэрцитивных сил отдельных магнито жесткого (CoNi) и магнитомягкого (FeNi) слоев составляет более 2^3 порядков. Ситуация заметно меняется, когда из этих слоев складывается сэндвич. В этом случае имеем, что кривая намагничивания имеет вид наложения двух петель. Однако, это не алгебраическая сумма исходных кривых. Внутренняя петля уширена по сравнению с исходной магнитомягкой кривой, а внешняя кривая заметно сужена. Введение немагнитной полупроводниковой прослойки кремния делает ситуацию еще более необычной. В зависимости от толщины немагнитной прослойки форма кривой намагничивания заметно меняется. По крайней мере, отчетливо видно, что коэрцитивная сила зависит от толщины кремния осциллирующим образом. Обращает на себя внимание и то, что высота высококопелевой ступеньки зависит от толщины кремниевой прослойки.

Обнаружено, что на температурной зависимости коэрцитивной силы в низкотемпературной её части ($T \sim 5$ K) наблюдается наличие максимума, однако, чтобы объяснить эти данные одной только конкуренции анизотропий в разных слоях явно недостаточно. Это дает основание считать, что межслоевой обмен зависит от толщины немагнитного слоя, и он существенно влияет на формирование магнитного состояния.

Список публикаций:

- [1]. J. Nogues, J. Sort, V. Langlais, et al, *Phys. Rep.* V.422, 65 (2005).
- [2]. S.D. Bader. *Rev. Mod. Phys.* V.78, 1 (2006).
- [3]. J.P. Liu. *Exchange-Coupled Nanocomposite Magnets*. In book: *Nanoscale Magnetic Materials and Applications*. Ed. by: J.P. Liu, et al. (Springer, New York, 2009), P.309.
- [4]. D. Suess. *JMMM*. V.308, 183 (2007).
- [5]. G.S. Patrin, Ya. Shiyani, K.G. Patrin, G.Yu. Yurkin. *J. Low Temp. Phys.* V.182, 73 (2016).

Исследование фазовых состояний углерода в материале, полученном в условиях электрического взрыва смеси графита с катализаторами

Игнатъев Виталий Андреевич

Мельникова Нина Владимировна, Аликин Денис Олегович

Уральский федеральный университет

Мельникова Нина Владимировна, к.ф.-м.н.

Faust.93@mail.ru

Наноалмазные частицы обладают уникальными физико-химическими характеристиками, в связи с чем выявление влияния способов их получения на физические свойства является актуальной задачей. Цель работы — исследование фазовых состояний углерода и установление наличия алмазоподобного углерода в ультрадисперсном материале, полученном в условиях электрического взрыва смеси графита с катализаторами.

Образцы для исследований, представляющие собой осажденные на стеклянные подложки продукты электрического взрыва медных трубочек, наполненных графитом с катализаторами Ni-Mn, получены в институте сильноточной электроники СО РАН (Томск) по методике, представленной в работе [1]. Для исследования образцов использованы методы изучения: оптическая, растровая электронная и конфокальная рамановская микроскопии.

С помощью оптической микроскопии получены изображения поверхностей образцов. Растровая электронная микроскопия позволила определить содержание химических элементов в весовых и атомных процентах и установить наличие углерода в алмазоподобной форме - агломератов различных размеров, попадающих в диапазон от 20 до 95 нм. Средний размер агломератов 55 нм. С помощью рамановской спектроскопии получены спектры комбинационного рассеяния. На рамановских спектрах, представленных на рисунке 1, полученных на двух разных участках образца, на спектре 1 максимумы интенсивности при 940 см^{-1} и 1100 см^{-1} соответствуют наиболее сильным полосам от стеклянной подложки (SiO_2). Полоса 1332 см^{-1} на том же спектре соответствует линии углерода в форме алмаза (1332 см^{-1}) [2], а наличие полосы 1582 см^{-1} и гало в области $2000-4000$ см^{-1} на спектре 2 могут указывать на присутствие углерода в форме графита и аморфного углерода.

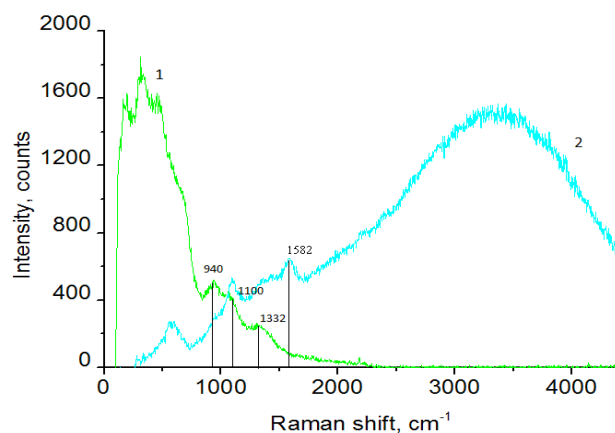


рис. 1. – Рамановские спектры, на разных участках образца.

Таким образом, проведенный анализ позволил установить, что в образцах, полученных в условиях электрического взрыва смеси графита с катализаторами, присутствует аморфный углерод, графит и углерод в алмазоподобной форме.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-02-00857-а.

Список публикаций:

[1] Долматов В. Ю // *Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза*. – СПб.: СПбГПУ, 2003. – 344 с.

[2] N. V. Melnikova, D. O. Alikin, Yu. B. Melnikov, I. G. Grigorov, S. A. Chaikovsky, N. A. Labetskaya, I. M. Datsko, V. I. Oreshkin, N. A. Ratakhin, K. V. Khishchenko // *Study of composition of the ultrafine material produced from graphite-catalyst mixture under extreme energy action. Journal of Physics: Conference Series*. 774 (1) 012012 P.1-7 (2016).

Анализ влияния теплоты фазовых переходов на скорость миграции включений в кристалле

Карпенко Анастасия Сергеевна
Южный федеральный университет
Гармашов Сергей Иванович, к.ф.-м.н.
as.karpenko911@yandex.ru

Явление миграции жидкого включения в неоднородно нагретом кристалле (или термомиграция) получило применение в полупроводниковой технологии как метод создания глубоких p-n переходов [1]. Это явление сопровождается рядом процессов (прежде всего, кристаллизацией, растворением и диффузией), и для их исследования также можно использовать данное явление [1,2]. И в первом, и во втором случае важно иметь адекватную математическую модель, которая позволила бы правильно рассчитать скорость миграции включения при заданных условиях. Одновременное учитывать все факторы, влияющие на скорость миграции, довольно затруднительно с математической точки зрения, поэтому обычно в моделях используются некоторые упрощения.

Одним из факторов, оказывающим влияние на скорость миграции жидкого включения в кристалле, является теплота фазовых переходов (ФП), выделяющаяся (поглощающаяся) при протекании процессов кристаллизации (растворения). Эта теплота будет изменять распределение температур в области включения, вследствие чего будет меняться и скорость кристаллизации (растворения). Аналитические оценки степени влияния теплоты ФП на скорость термомиграции в установившемся режиме этого процесса приведены в обзоре [1]. В общем случае, например, когда тепловые условия термомиграции не являются стационарными [2], а межфазная кинетика описывается нелинейными функциями, строгий подход к задаче требует совместного решения уравнений тепло- и массопереноса.

Целью настоящей работы является анализ влияния теплоты ФП на массоперенос в жидком включении в стационарных и нестационарных тепловых условиях с учётом нелинейной межфазной кинетики на основе разработанной численной модели процесса термомиграции. При построении модели и соответствующей компьютерной программы [3] (рис. 1а) предполагалось, что жидкое включение представляет собой плоскую прослойку, заключённую между двумя кристаллическими пластинами, а вся композиция находится в вакууме и подвергается одностороннему нагреву для создания в прослойке градиента температуры.