

DETONATION NANODIAMONDS. STRUCTURE, PHASE TRANSITION AND APPLICATIONS

A.Ya.Vul'

Ioffe Physico-Technical Institute, the Russian Academy of Sciences

26 Politechnicheskaya, St.Petersburg, 194021, Russia¹

An important material for nanotechnology is nanocarbon clusters, namely fullerenes, nanotubes and carbon onions discovered and synthesized at the end of the 20th century. Nanodiamonds also belong to this family.

These are unique 'construction blocks' having the structure of the hardest natural material - diamond - and possessing nanometer sizes. They can be synthesized from carbon during explosion of some explosive materials.

The first reports on nanodiamond synthesis came from Russia and the United States in the middle of the 1980s [1,2]. During the last four years, we have witnessed active interest in the production, purification, physico-chemical properties, and applications of this unique material.

In this report I will focus on the modern conception on the nanodiamond structure and its correlation with synthesis condition and method of purification, some features of the phase transition "nanodiamond – graphite" and possible applications of nanodiamonds for electronics.

1. During last years it has been shown that the nanodiamond cluster consists of a diamond core of 40 to 45 angstroms in size, enveloped by a shell from carbon onions [3]. It must be emphasized that diamond cores have very sharp distribution in sizes, and the distribution depends strongly on conditions of detonation synthesis.

2. We have found experimentally that during the heating in an inert atmosphere, the diamond-graphite transition is carrying out and there is consecution of the structural transformation in the line: nanodiamond – onion-like carbon – nanographite [4]. We reveal the following interesting feature : annealing in argon increases the sp^2/sp^3 ratio of the bound carbon, which means that the graphite content increases. In hydrogen annealing, however, there is a temperature range with a larger sp^3 -hybridized, or diamond, content. It means that in hydrogen, we can observe the back transition onion-like carbon – diamond in a certain temperature range.

3. It is quite clear that nanodiamond clusters with the number of surface atoms comparable with

that of bulk atoms cannot exist separately, because the unsaturated surface bonds will make them aggregate. The electron scanning shown that nanodiamond particles indeed aggregate to form a well-ordered hierarchy. The primary aggregates unite about 10 nanoparticles and are from 50 to 60 nanometers in size. They, in turn, unite with one another to make larger aggregates. You can notice that their structure becomes less ordered as their size increases. The experimental data show that the smallest aggregates are the most stable.

4. We shown that nanodiamonds can be used for preparation of nanosized silicon carbide [5] and growing of CVD diamond films on different substrates [6] besides their traditional applications.

5. Modern approaches for formation of field electron emitters based on different nanocarbon structures will be discussed and a new possibility for nanodiamond application for the field emitter will be proposed [7].

The work was supported by the State Program "Fullerenes and Atomic Clusters" and the Program of the Russian Academy of Sciences "Low Dimensional Quantum Structures"

References

1. A. I. Lyamkin, E. A. Petrov, A. P. Ershov, G. V. Sakovich, A. M. Staver, and V. M. Titov, Dok. Akad. Nauk SSSR, v.302, 611 (1988) [Sov. Phys. Dokl. v.33, 705 (1988)]
2. N. R. Greiner, D. S. Phillips, J. D. Johnson, and F. Volk, Nature, v.333, 440 (1988).
3. A.E.Aleksenskii, M.V.Baidakova, A.Ya.Vul', V.I.Siklitski. Phys.Solid.State., v.41, 668 (1999).
4. E. Aleksenski, M. V. Badakova, A. Ya. Vul' et al. Phys. Solid State, v. 42, 1575 (2000).
5. O. M. Sreseli, D. N. Goryachev, V. Yu. Osipov, L. V. Belyakov, S. P. Vul', I. T. Serenkov, V. I. Sakharov, and A. Ya. Vul'. Semiconductors, v. 36, 574 (2002).
6. A.Ya.Vul', V.G.Golubev, C.A.Grudinkin, A. Krüger, H. Naramoto. Technical Physics Letters, v.28, 787 (2002).
7. A. Dideykin, E.Eidelman, A. Vul'. Solid State Communications, May, 2003

¹ E-mail: AlexanderVul@mail.ioffe.ru

ДЕТОНАЦИОННЫЕ НАНОАЛМАЗЫ. СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И ПРИМЕНЕНИЯ

А.Я.Вуль

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе РАН

Политехническая 26, Санкт-Петербург 194021, Россия

В технологии наноматериалов все более заметное место играют кластеры наноглерода – открытые и синтезированные в конце прошлого века фуллерены, нанотрубы, углерод луковичной формы.

К семье этих углеродных наноблоков относятся и наноалмазы. Эти уникальные «строительные блоки», обладающие структурой самого твердого из известных природных материалов – алмаза, имеют характерные размеры в миллиардные доли метра. Они синтезируются из углерода взрывчатых веществ в момент взрыва.

Первые сообщения о синтезе наноалмазов появились в середине восьмидесятых годов в России и, затем, в США [1,2]. Три-четыре последних года отмечены всеобщим интересом к особенностям синтеза, методам очистки, физико-химическим свойствам и применениям этого уникального наноматериала.

В докладе будут изложены современные представления о структуре наноалмазного кластера и ее связи с процессами синтеза и очистки, особенности фазового перехода наноалмаз – графит, возможные применения наноалмазов в электронике.

1. Исследования последних лет показали, что кластер наноалмаза состоит из алмазного ядра размером 40 - 45 ангстрем, покрытого оболочкой из углерода луковичной формы [3]. Существенно, что алмазные ядра имеют чрезвычайно узкое распределение по размерам, которое определяется только параметрами взрывного синтеза.

2. Исследования фазового перехода, происходящего в наноалмазном кластере под действием высокотемпературного отжига в различных атмосферах показали, что имеет место последовательность структурных трансформаций алмаз - луковичная форма углерода – нанографит [4].

Существенно, что если при отжиге в инертной атмосфере растет отношение sp^2/sp^3 связанного углерода, то есть увеличивается доля графитовой фазы, то при отжиге в атмосфере водорода существует интервал температур, в котором растет доля sp^3 гибризованного, то есть «алмазного» углерода. В атмосфере водорода, в некотором

интервале температур, может наблюдаться обратный переход из луковичной формы углерода в алмаз.

3. Достаточно очевидно, что наноалмазный кластер, в котором число поверхностных атомов сопоставимо с числом объемных, не может существовать изолированно. Ненасыщенные поверхностные связи приведут к агрегации наноалмазов. Электронная микроскопия показала что, частицы наноалмаза агрегируют, образуя последовательную иерархическую систему - первичные агрегаты объединяют около 10 наночастиц, и имеют, соответственно, размеры около 50-60 нанометров. Первичные агрегаты, в свою очередь, объединяются в более крупные. Можно заметить, что рыхлость агрегатов по мере их укрупнения растет, а плотность падает.

4. Показано, что кроме традиционного использования, наноалмазы могут быть использованы для получения наноразмерного карбида кремния [5], для роста CVD алмазных пленок на различных подложках [6].

5. Обсуждаются существующие подходы к созданию автоэлектронных эмиттеров на основе различных углеродных наноструктур и обсуждается возможность использования наноалмазов для создания таких эмиттеров [7].

Работа поддерживается Госпрограммой «Фуллерены и атомные кластеры» и Программой Президиума РАН «Низкоразмерные квантовые структуры»

References

1. A. I. Lyamkin, E. A. Petrov, A. P. Ershov, G. V. Sakovich, A. M. Staver, and V. M. Titov, Dok. Akad. Nauk SSSR, v.302, 611 (1988) [Sov. Phys. Dokl. v.33, 705 (1988)]
2. N. R. Greiner, D. S. Phillips, J. D. Johnson, and F. Volk, Nature, v.333, 440 (1988).
3. A.E.Aleksenskii, M.V.Baidakova, A.Ya.Vul', V.I.Siklitski. Phys.Solid.State., v.41, 668 (1999).
4. E. Aleksenski, M. V. Badakova, A. Ya. Vul' et al. Phys. Solid State, v. 42, 1575 (2000).
5. O. M. Sreseli, D. N. Goryachev, V. Yu. Osipov, L. V. Belyakov, S. P. Vul', I. T. Serenkov, V. I. Sakharov, and A. Ya. Vul'. Semiconductors, v. 36, 574 (2002).
6. A.Ya.Vul', V.G.Golubev, C.A.Grudinkin, A. Krüger, H. Naramoto. Technical Physics Letters, v.28, 787 (2002).
7. A. Dideykin, E.Eidelman, A. Vul'. Solid State Communications, v.126, 495 (2003)