

## Nanodiamonds open up new prospects in slow neutron optics

Nanodiamonds have been studied for more than 60 years as a promising material for a wide range of applications: fine abrasives, modifiers of polymers and other materials, agents for targeted drug delivery, etc. Detonation nanodiamond (DND) powders have also proved to be extremely useful for increasing the fluxes of cold and very cold neutrons (CN and VCN) on the beamlines of neutron sources. Most research facilities use thermal neutrons or CN, while scientists are interested in using the entire spectrum of CN and VCN with wavelengths in the range of 0.5–20 nm. Until recently,

there were no effective VCN reflectors, which is why the number of neutrons in the beam is small. At FLNP, scientists are developing unique CN and VCN reflectors based on nanodiamonds that have no analogues in the world [1]. These studies allow us to look at nanodiamonds from a new perspective.

The principle of CN and VCN reflectors is based on the multiple scattering of neutrons inside a medium consisting of individual particles. The most efficient neutron reflection is achieved when the particle sizes are comparable to the neutron wavelength. We found that detonation nanodiamonds

Fig. 1. SEM and TEM images of DND agglomeration at different scale levels, and the distribution of DND diameters. The black solid line corresponds to the lognormal distribution.

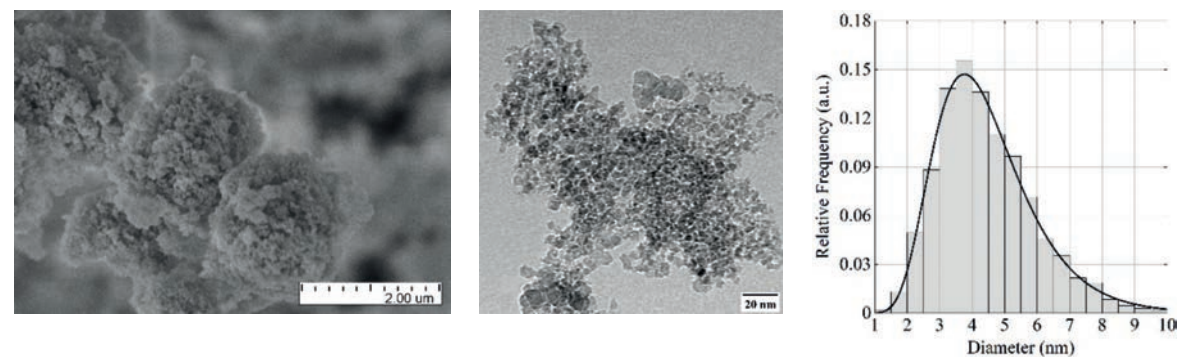


Рис. 1. Изображения агломерации ДНА на различных уровнях масштаба, полученные с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Соответствующее распределение диаметров ДНА. Черная сплошная линия соответствует логнормальному распределению.

## Наноалмазы открывают перспективы в оптике медленных нейтронов

Наноалмазы исследуются более 60 лет как перспективный материал для широкого спектра применений: тонкие абразивы, модификаторы полимеров и других материалов, агенты для адресной доставки лекарств и др. Оказывается, что порошки детонационных наноалмазов (ДНА) могут быть также чрезвычайно полезны для увеличения потоков холодных и очень холодных нейтронов (ХН и ОХН) на выведенных пучках нейтронных источников. Большинство исследовательских установок используют тепловые нейтроны и ХН, когда ученые заинтересованы в том, чтобы использовать весь спектр ХН и ОХН с длинами волн 0,5–20 нм. До недавних пор не существовало эффективных отражателей ОХН из-за

чего количество нейтронов в пучках мало. Ученые ЛНФ разрабатывают уникальные отражатели ХН и ОХН, на основе наноалмазов, не имеющие аналогов в мире [1]. Эти исследования позволяют посмотреть на наноалмазы с новой стороны.

Работа отражателя ХН и ОХН основана на многократном рассеянии нейтронов внутри среды, состоящей из отдельных частиц. Наиболее эффективное отражение нейтронов достигается, когда размеры частиц сопоставимы с длиной волны нейтронов. Мы обнаружили, что рекордным коэффициентом отражения ОХН обладают наноалмазы детонационного синтеза (ДНА). Алмаз имеет максимальную объемную

плотность по сравнению с другими формами углерода. При этом поглощение нейтронов атомами углерода мало, а интенсивность рассеяния высокая. Средние размеры ДНА ~5 нм (рис. 1), что оптимально для диффузного отражения ОХН при любых углах падения на отражатель (рис. 2) и близко к оптимуму для отражения ХН при малых скользких углах.

ДНА почти идеально подходят на роль материала отражателя, но есть ряд проблем, решение которых позволит его улучшить. Реальные порошки ДНА содержат наночастицы и кластеры разных размеров (рис.1), что влияет на их отражательную способность, как было показано исследованиями малоуглового рассеяния [2]. Кроме этого, в порошках ДНА содержится большое количество примесей. В отличие от углерода, эти

примеси активнее захватывают нейтроны и активируются в интенсивных радиационных полях, что негативно влияет на свойства отражателя. С помощью методов нейтронного активационного анализа (НАА) мы провели элементный анализ порошков ДНА и изучили эффективность технологий очистки порошков [3].

Порошки ДНА с оптимизированными свойствами были недавно использованы как материал отражателя в конструкции прототипа источника ОХН [4]. Мы продемонстрировали, что благодаря отражателю интенсивность ОХН, доставляемых от источника к установке, может увеличиться в ~10 раз (рис. 2), что эквивалентно многократному увеличению мощности исследовательского ядерного реактора.

Fig. 2. Left: optimal DND diameters and the corresponding probability of VCN reflection (albedo) from a semi-infinite monodisperse DND layer as a function of VCN wavelength. Right: radial dependence of the specific probability of VCN detection with (left axis and dots) and without (right axis and solid line) a DND reflector.

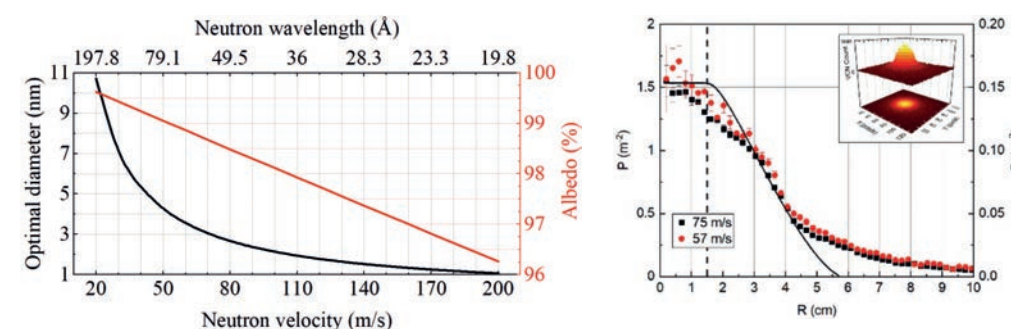


Рис. 2. Слева: оптимальные диаметры ДНА и соответствующая вероятность отражения ОХН (альbedo) от полубесконечного монодисперсного слоя ДНА в зависимости от скорости/длины волны ОХН. Справа: радиальная зависимость удельной вероятности обнаружения ОХН с (левая ось и точки) и без (правая ось и сплошная линия) отражателя из ДНА.

плотность по сравнению с другими формами углерода. При этом поглощение нейтронов атомами углерода мало, а интенсивность рассеяния высокая. Средние размеры ДНА ~5 нм (рис. 1), что оптимально для диффузного отражения ОХН при любых углах падения на отражатель (рис. 2) и близко к оптимуму для отражения ХН при малых скользких углах.

ДНА почти идеально подходят на роль материала отражателя, но есть ряд проблем, решение которых позволит его улучшить. Реальные порошки ДНА содержат наночастицы и кластеры разных размеров (рис.1), что влияет на их отражательную способность, как было показано исследованиями малоуглового рассеяния [2]. Кроме этого, в порошках ДНА содержится большое количество примесей. В отличие от углерода, эти

примеси активнее захватывают нейтроны и активируются в интенсивных радиационных полях, что негативно влияет на свойства отражателя. С помощью методов нейтронного активационного анализа (НАА) мы провели элементный анализ порошков ДНА и изучили эффективность технологий очистки порошков [3].

Порошки ДНА с оптимизированными свойствами были недавно использованы как материал отражателя в конструкции прототипа источника ОХН [4]. Мы продемонстрировали, что благодаря отражателю интенсивность ОХН, доставляемых от источника к установке, может увеличиться в ~10 раз (рис. 2), что эквивалентно многократному увеличению мощности исследовательского ядерного реактора.