

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Импульсная акустическая микроскопия для визуализации малоразмерных элементов в объеме материала и на границах их соединений»  
МОРОКОВА ЕГОРА СТЕПАНОВИЧА, специальность 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Диссертация Морокова Е.С. посвящена актуальной теме развития методов сканирующей импульсной акустической микроскопии (СИАМ) для изучения микроструктуры, а также контроля упругих, прочностных и дефектных характеристик в объеме материала. Метод позволяет изучать микроструктуру объема непрозрачных объектов и проводить измерения локальных, соответствующих диаметру фокусного пятна, скоростей ультразвука на образцах малых размеров. Эти возможности делают метод актуальным и перспективным в области неразрушающего контроля.

В работе поставлена цель – разработать методы и провести оценку параметров, определяющих чувствительность и разрешение СИАМ при визуализации малоразмерных, много меньше длины волны используемого ультразвука, структурных элементов материала (композитного, в том числе).

На примере плотных керамических материалов,  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ , автор не только подтвердил справедливость проведенных теоретических расчетов, характеризующих работоспособность СИАМ, но и получил новые экспериментальные данные, характеризующие объемную микроструктуру и её влияние на упругие свойства материала.

К наиболее важным результатам диссертационной работы Морокова Е.С. можно отнести следующие:

1. Изучены и описаны процессы, влияющие на формирование акустических изображений объемной микроструктуры и показано, какое влияние на их формирование оказывает рассеяние ультразвука на малоразмерных структурных элементах, включениях и дефектах.

2. Установлено, что СИАМ изображение структуры в объеме образца формируется эффективной апертурой зондирующего пучка, которая, уменьшается пропорционально расстоянию от поверхности образца в степени  $1/4$ . Латеральное разрешение в СИАМ изображении объемной структуры определяется размером 1-й зоны Френеля и пропорционально длине волны в степени  $3/4$ , умноженной на расстояние от поверхности изображаемого слоя в степени  $1/4$ .

3. Проведена экспериментальная верификация установленных особенностей формирования СИАМ изображений и установлены зависимости скоростей продольного и поперечного ультразвука от пористости, размера зерен и типа их кристаллической модификации (на примере керамик  $ZrO_2$  и  $Al_2O_3$ ).

Диссертационная работа Морокова Е.С. имеет значительное практическое значение для развития технологий неразрушающей дефектоскопии, характеристики механических свойств структурированных и дефектных материалов, визуализации структур в микроэлектронике.

В качестве критического замечания следует обратить внимание на то, что, к сожалению, в автореферате не приведено развернутое определение такого используемого понятия, как «микроструктура границы раздела»; утверждение, что поры и включения в керамике «образуют сотовую структуру» не верно; положение, выносимое на защиту «Упругие характеристики керамик зависят от пористости, среднего размера и типа кристаллической модификации» - тривиально.

Приведенные выше замечания не умаляют общее научное и практическое значение диссертации Морокова Е.С.

Содержание автореферата диссертации Морокова Е.С. достаточно полно отражает объем и результаты выполненного научного исследования.

В целом диссертация Морокова Е.С. отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, а ее автор – Мороков Егор Степанович заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Главный научный сотрудник ФГБНУ "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов"

адрес: 108840, г. Москва, Троицк, ул. Центральная, д. 7а

тел. +7 (499) 400-62-25, email: info@tisnum.ru

доктор физ.-мат. наук (специальность 01.04.07),

Согласен на обработку персональных данных.

Буга Сергей Геннадьевич

Подпись Буги Сергея Геннадьевича заверяю

1-й заместитель директора по научной работе ФГБНУ "Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов"



Прохоров Вячеслав Максимович

«19» сентября 2018 г.