

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Авази Мирзо «Исследование влияния фуллеренов и углеродных нанотрубок на структуру и физические свойства некоторых аморфных и кристаллических полимеров», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированных сред.

Диссертация Авази Мирзо посвящена одному из наиболее перспективных направлений исследования в области физики конденсированного состояния – разработка и создания новых инновационных композитов с применением последних достижений науки и технологии. Выбранное диссертантом направление, с привлечением прямых физических неразрушающих методов, такие как: атомно-силовой микроскопии (АСМ), лазерной вспышки (ЛВ), лазерной фотоакустики (ФА), дилатометрии, бриллюэновского рассеяния (БР), оптической и люминесцентной спектроскопии и современного экспериментального оборудования, необходимого для изучения некоторых фундаментальных (структурных, упругих, оптических и теплофизических) свойств, считается наиболее из популярных направлений в физике.

Достоверно известным фактом является создание новых технологий получения нанокompозитов, дающих возможность достижения равномерных глобулярных структур в полимерных матрицах, является на современном этапе актуальной задачей с реальными перспективами. При этом следует учитывать сохранение активности нанотрубок и нанопорошков, особенности и подходы к технологии их введения в полимерные матрицы (автономно или опосредованно), воспроизводимость получаемых результатов. Именно благодаря своим наномасштабным размерам они имеют превосходные поверхностные свойства в составе различных полимерных нанокompозитных материалов, позволяя (в зависимости от концентрации, структуры, распределению и др.), манипулировать свойствами конечного УНКПМ, т.е. получить новый функциональный нанокompозитный полимерный материал.

**Новизна исследования** заключается в том, что автором определена концентрационная зависимость энергии ширины запрещенной зоны ( $E_g$ ) композитов на основе ПММА и ПС. Выявлена общая тенденция уменьшения  $E_g$  с ростом концентрации нанокompозитных частиц в композите. Также разработана компьютерная моделирующая программа для проведения численных ФА экспериментов, позволяющая провести анализ зависимости параметров ФА сигнала от теплофизических и оптических характеристик УНКПМ.

Коротко о **практической значимости** работы. В диссертации Авази Мирзо разработана технология получения наноуглеродсодержащих композитов на основе тонких полимерных пленок, исследованы их структура и физические свойства. Исследована морфология структуры поверхности образцов, несущая важную информацию о пространственном распределении углеродных наночастиц, их размеров, определяющие деформационные и прочностные показатели полимеров и УНКПМ разного состава. Полученные результаты теплофизических, оптических, упругих и механических свойств нанокомпозитов могут быть использованы для прогнозирования их свойств и работоспособности.

Диссертация состоит традиционно из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включающего работы самого автора.

**Во введении** обосновывается актуальность темы исследования, формулируются основные цели и задачи диссертационного исследования, обосновываются научная новизна и практическая значимость. Приводятся основные положения, выносимые автором на защиту, обосновывается достоверность полученных автором результатов, указывается личный вклад автора, излагается апробация результатов

**Первая глава** – литературный обзор. В ней приведен тщательный анализ работ по созданию углеродсодержащих композитных полимерных материалов и методикой их исследования, применения углеродных частиц в качестве модифицирующих добавок, их влиянию на физико-химические свойства полимерных материалов и перспективам создания новых углеродсодержащих композитных полимерных материалов.

**Вторая глава** дает сведения об объектах исследования: широко используемых полимерах ПЭНП, ПММА и ПС, а также их наноуглеродных наполнителях: фуллеренах  $C_{60}$ ,  $C_{70}$  и многостенных углеродных нанотрубках (МУНТ); рассмотрена технология приготовления композитов из общих растворов в ароматических растворителях. Обосновано использование в работе методов исследования: атомно-силовой микроскопии (АСМ), оптической спектроскопии (спектрофотометрическая, фотолюминесцентная), бриллюэновского рассеяния, дилатометрии, лазерной вспышки, лазерной фотоакустической спектроскопии и численного (компьютерного) моделирования. Приведены сведения об использованной аппаратуре.

**Третья глава** посвящена результатам комплексного исследования влияния малых добавок (0,1÷10 масс. %) углеродных наночастиц: фуллеренов  $C_{60}$ ,  $C_{70}$  и МУНТ на структуру, упругие и теплофизические свойства образцов плёнок ПММА, ПЭНП и ПС. Автором показано, что морфология поверхности ПММА и ПЭНП меняются сложным образом в

зависимости от типа нанонаполнителей и их концентрации; структура поверхности композитов ПММА+МУНТ более неравномерна по сравнению с композитами ПММА+С<sub>60</sub>.

Авазу Мирзо удалось установить, что значение бриллюэновских частот пиков рассеяния для композитов на основании ПММА и ПЭНП при изменении концентрации наполнителей (МУНТ, С<sub>60</sub> и С<sub>70</sub>) смещаются в область низких частот, причем характер кривых зависит от природы полимера типа наночастиц и их концентрации.

Далее соискателем исследовано влияние фуллерена С<sub>60</sub> на теплофизические свойства ПЭНП и ПММА. Показано, что температуропроводность углеродсодержащих композитов линейно уменьшается как с ростом температуры, так и ростом концентрации. Предложен механизм уменьшения температуропроводности при внедрении малых добавок С<sub>60</sub>, связанный с рассеянием фононов на кристаллитах, наночастицах, микропорах.

Исследованы спектры поглощения композитов ПММА, ПЭНП и ПС с разными концентрациями нанокремниевых С<sub>60</sub>, С<sub>70</sub> и МУНТ в области длин волн 200-800 нм. Выявлено, что оптические спектры поглощения нанокompозитов на основе указанных полимерных матриц меняются в зависимости от вида наночастиц и их концентрации, проявляющиеся в изменении интенсивности, появлении новых полос и сдвигу их краев.

**Рекомендации по использованию результатов** и выводов диссертационной работы позволяют произвести численные расчеты реального эксперимента с целью обеспечения регулируемой оптической поглощательной способности в различных устройствах оптического назначения.

Отмечу, что диссертация написана грамотно и изложение материала выстроено вполне логично. Список цитируемой литературы полностью отражает ситуацию в данной области исследований. Наряду на несомненные достоинства работы, следует отметить следующие **замечания**:

1. Работа содержит ярко выраженные стилистические и грамматические ошибки, характерные всем диссертациям;

2. Поскольку любой экспериментальный факт основан на статистический природы явлений, было бы целесообразно оценить в работе не только средние величины, но и другие статистические параметры: дисперсии, среднеквадратичные отклонения, доверительные интервалы и показать их на графиках (рис. 2-4, 8 и 9 в автореферате); (рис. 3.16-3.19, 3.22-3.25, 3.37 в диссертации).

3. Концентрация МУНТ в матрицах ПММА для исследования методом АСМ варьировалась в ограниченном интервале 0,1-1%.

Отмеченные замечания снижают ценность результатов, но они не влияют на общую положительную оценку работы, которая является законченным исследованием, имеющим несомненное научное и практическое значение.

На основе полученных результатов и произведенных расчетов, автором подготовлен и опубликован 26 научных работ, из них 2 в индексируемых базах данных Web of Science и Scopus, 4 - в рецензируемых журналах ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 2- статьи в научных журналах Республики Казахстана, 18 тезисов и докладов в материалах международных и республиканских научных конференций. Автореферат и публикации содержат основные идеи и выводы, полностью отражающие содержание диссертации.

### Заключение

Считаю, что диссертационная работа Авази Мирзо «Исследование влияния фуллеренов и углеродных нанотрубок на структуру и физические свойства некоторых аморфных и кристаллических полимеров», является законченной научной квалификационной работой, способствующей решению актуальной задачи, которая имеет существенное теоретическое и практическое значение для оптоэлектроники и фотоакустики.

Диссертация Авази Мирзо соответствует пунктам 31 и 33-35 Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г. за № 267 (в редакции пост. Правительства РТ от 26.06.2023 №295), «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а также требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан от 31 мая 2022 г. за № 171. Все вышеизложенное позволяет считать, что автор диссертации Авази Мирзо заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированных сред.

Заведующей лаборатории физики  
Худжандского научного центра НАНТ  
к.ф.-м.н., с.н.с.



Эгамов М.Х.

Подпись Эгамова Мухтора Хасаневича заверяю: нач. отдела кадров ХНЦ  
НАНТ Рахимова Тахмина Джумачонова

735730 Республика Таджикистан, г. Худжанд, Северо-восточная пром. зона  
Телефон: сл.:(83422) 5-78-13, моб.: +992 93 983 93 53  
Адрес электронной почты [egamov62@mail.ru](mailto:egamov62@mail.ru)

15.08.2024