Prof. Dr. Laïfa BOUFENDI

Orleans May 11th 2024

To **Prof. Dr. Tlekkabul S. RAMAZANOV**
Al Farabi Kazakh National University
Institute of Experimental and Theoretical Physics
Al Farabi 71, Almaty 050040
Kazakhstan

Recommendation of the PhD thesis of **Mr. Askar ZHUNISBEKOV**

REVIEW of the foreign scientific supervisor of the PhD dissertation entitled "Synthesis of Nanomaterial by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) method in High-frequency discharge." Submitted by Mr. Askar ZHUNISBEKOV for the Scientific Degree of Doctor of Philosophy (PhD) in speciality "6D074000 Nanomaterials and Nanotechnology."

Dear Colleague,

In the dissertation is presented a summary of the work focused on the studies of the plasma and discharge properties optimization for the synthesis and deposition of 1 nm $Si_{19}H_{12}$ Silicon Nanoclusters (SiNCs). These SiNCs possess permanent electric dipole. Just a reminder, Mr. A. Zhunisbekov built up a new experimental set up that fulfills all the technical requirements for the achievement of the fixed objectives for his research program.

Original and outstanding results were obtained by Mr. A. Zhunisbekov. In fact, he synthesized and deposited these SiNCs of Quarts. He used a wide variety of diagnostic and characterization tools during his studies such as electrical and optical emission spectroscopy for the plasma and discharge investigations and Scanning and Transmission Electronic Microscope (SEM), Atomic Force Microscope, Kelvin Probe and Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy (UPS) etc... After a long-performed optimization work, the obtained results show that the SiNCs induce a 2.3 eV reduction of the work function (WF) of the Quartz (from 4.8 eV down to 2.5 eV) with 12 orders of magnitude increase of the thermionic current density at 1000K. These achievements represent a real-world record. They open the way to many other investigations and a very wide range of applications such as new plasma thrusters cathodes, negative ions sources for the injection of energetic neutral atoms in Tokamaks, electron guns, organic solar cells, light emitting diodes and biomedical applications.

Through this research work, Mr. Askar Zhunisbekov acquired a real and strong expertise and experience in different domains related to plasma and discharge science and technology, plasma and discharge characterization, material characterization using different techniques. For all these reasons, I strongly recommend the presentation of the thesis manuscript of Mr. Askar Zhunisbekov to the Dissertation Council

Yours faithfully

Professor Laïfa BOUFENDI
Retired from University of Orleans
Tel.: (33) (6) 2 14 48 62 31
e-mail: laifa.boufendi@orange.fr

Заверяю подпись Жанисова Д. Ш.

Профессор, доктор Лайфа Буфенди

Орлеан, 11 мая 2024

Кому: д.ф.-м.н., профессору Тлеккабулу Рамазанову
Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби
Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики
050040, Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби 71

Рекомендация к диссертации докторанта PhD **Аскара Жунисбекова**

Отзыв зарубежного научного руководителя диссертации на тему « Синтез наноматериалов методом плазмохимического осаждения в высокочастотном емкостном разряде», представленной мистером Аскаром Жунисбековым на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D074000 - Наноматериалы и нанотехнологии».

Уважаемый коллега,

Диссертация представляет собой обзор работы, направленной на изучение и оптимизацию свойств плазмы и разряда для синтеза и осаждения кремниевых нанокластеров $Si_{19}H_{12}$ размером 1 нм методом плазмохимического осаждения (PECVD). Эти нанокластеры обладают постоянным электрическим диполем. Хочу напомнить, что мистер А. Жунисбеков создал новую экспериментальную установку, которая соответствует всем техническим требованиям для достижения поставленных целей своей научно-исследовательской программы.

Мистер А. Жунисбеков достиг оригинальных и выдающихся результатов. Он синтезировал и осадил эти кремниевые нанокластеры SiNCs на кварцевую подложку. В ходе исследований он использовал широкий спектр диагностических инструментов, таких как электрическая и оптическая эмиссионная спектроскопия для исследования плазмы и разряда, а также сканирующий и просвечивающий электронные микроскопы (SEM и TEM), атомно-силовой микроскоп, кельвиновский зонд и ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (UPS) и другие. После длительной оптимизации результаты показали, что кремниевые нанокластеры вызывают снижение работы выхода кварца на 2,3 эВ (с 4,8 эВ до 2,5 эВ), что приводит к увеличению плотности термоэлектронного тока на 12 порядков при 1000K. Эти достижения представляют собой рекорд в реальном мире и открывают путь к множеству других исследований и широкому спектру применений, таких как катоды для новых плазменных тяговых двигателей, источники отрицательных ионов для инжекции энергетических нейтральных атомов в токамаке, электронные пушки, органические солнечные элементы, светодиоды и биомедицинские приложения.

В ходе этого исследовательского процесса мистер Аскар Жунисбеков приобрел значительную экспертность и опыт в различных областях, связанных с плазменной наукой и технологией, описанием плазмы и разряда, исследованием материалов с использованием различных методов. По всем указанным причинам я настоятельно рекомендую представить диссертацию мистера Аскара Жунисбекова на рассмотрение диссертационного совета.

С уважением, Профессор Лайфа Буфенди
Retired from University of Orleans
Tel.: (33) (6) 2 14 48 62 31
e-mail: laifa.boufendi@orange.fr

ФИЗИКА-ТЕХНИКАЛЫҚ ФАКУЛЬТЕТІ

Заверяю подпись