|  |  |
| --- | --- |
| ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УНИКАЛЬНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК | |
|  |
| **Булатов Камиль Маратович** | |
| **ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНАЯ АКУСТООПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ.** | |
| Специальность: 03.06.01 – Физика и астрономия. | |
| научный доклад | |
| Москва – 2020 г | |

**Слайд 1 (Вступление)**

**Слайд 2: (АКТУАЛЬНОСТЬ)**

Лазерный нагрев в ячейках с алмазными наковальнями является уникальным методом для решения следующих проблем:

Исследование поведения вещества в экстремальных условиях: высоких давлениях и высоких температурах.

Геофизика: Понимание упругого поведения минералов под воздействием высокого давления является решающим фактором для развития модели структуры Земли, поскольку основную информацию о недрах Земли ученые извлекают из анализа сейсмологических данных

Синтез новых сверхтвердых материалов.

**Слайд 3(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА)**

В НТЦ УП РАН была разработана многофункциональная система для исследования образцов в экстремальных условиях (высокие давления и высокие температуры), оснащенная системой TAOTF и лазерным нагревом в ячейках высокого давления. Ее основными элементами являются сменный микрообъектв, модуль двойного акустооптического фильтра, линза, монохромная камера. Для определения температурного распределения нагретого объекта, в работе получали N спектральных изображений нагретого объекта , где . Далее для каждой точки гиперспектрального изображения производится подгонка уравнения Планка методом Вина. Таким образом происходит определение распределение термодинамической температуры при неизвестной излучательной способности.

Изначально планировалось изучить температуру фазовых переходов при высоких давлениях бор содержащих алмазов, но оказалось, что использование ТАОТF позволяет получить более обширные данные о веществе при экстремальных условиях.

**Слайд 4: (НОВИЗНА)**

Все эти задачи были успешно решены в процессе работы над диссертацией:

1) Было проведено моделирование новой схемы лазерной оптической системы нагрева образцов в ячейке высокого давления и разработана установка, в которой система лазерного нагрева и оптическая система измерения распределения температуры разделены.

2) Была продемонстрировано, что совмещение системы лазерного нагрева в алмазной наковальне (LH-DAC) с тандемным акустико-оптическим перестраиваемым фильтром (LH-DAC-TAOTF) позволяет одновременно измерять (а) относительное инфракрасное (ИК, 1070 нм) распределение мощности на поверхности образца в DAC; (б) распределение температуры при лазерном нагреве образца под высоким давлением в DAC.

3) Был предложена новая формулировка метода наименьших квадратов для закона Планка, что позволило свести двухмерный поиск минимума суммы квадратов отклонений к одномерному.

4) Для определения давления в DAC к системе лазерного нагрева был добавлен дифракционный спектрометр и два полупроводниковых лазера, излучающих на длинах вол 405 нм и 532 нм.

5) Был разработан новый метод измерения статической тепловодности материалов, находящихся при высоких давлениях и температурах

6). Были проведены эксперименты по нагреву системы наноалмазов и Ni в алмазных наковальнях.

7). Был разработан метод изучения плавления металлов при лазерном нагреве.

**Слайд 5(Лазерный нагрев)**

В рамках современных научных исследований в области разработки новейших материалов, в геофизике и геохимии нередки случаи, когда образцы размером менее 1 мм подвергают одновременному воздействию высокого давления (более 500 ГПа) и высоких температур (более 6000 К). Статическое сжатие до таких высоких давлений можно достичь лишь в ячейках с алмазными наковальнями. На слайде представлена конструкция ячейки высокого давления.

**Слайд 6(модификация)**

Для определения давления в DAC к системе лазерного нагрева был добавлен дифракционный спектрометр и два полупроводниковых лазера, излучающих на длинах вол 405 нм и 532 нм. Это позволило измерять спектры КР как в алмазных наковальнях, так и образцах, находящихся при высоких давлениях. Также был изменен ввод лазерного излучения производящего нагрев в DAC.

**Слайд 7**

На слайде представлены известные методы дистанционного измерения распределения термодинамических. Температур. Показаны преимущества и недостатки.

**Слайд 8 (Новый метод обработки данных для измерений распределения температуры на поверхности вещества нагреваемого лазером)**

Представлено описание нового метод обработки гиперспектральных данных на основе метода наименьших квадратов для измерения распределения температуры на поверхности вещества нагреваемого лазером. Его основным преимуществом является увеличения скорости вычислений температуры и точности измерения при зашумленном гиперспектре.

**Слайд 9 (АОФ для измерения распределения интенсивности лазерного луча на поверхности нагреваемого тела)**

Использование лазерного нагрева при высоких давлениях в сочетании с TAOTF позволяет одновременно измерять двумерные распределения:

а) интенсивности инфракрасного лазерного излучения

б) распределения температуры на образце в ячейке высокого давления.

Также будет показано влияние pi-shaper на форму и положение фокуса инфракрасного лазерного луча на образце, используя TAOTF. Проведенные измерения распределения пучка представлены на слайде 10.

**Слайд 10**

**Слайд 11 (МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПЛАВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В ЯЧЕЙКАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ)**

Использование системы лазерного нагрева (LH) в сочетании с тандемным акустооптическим перестраиваемым фильтром (TAOTF) позволяет определить температуру плавления исследуемых образцов под действием инфракрасного лазера (IR, 1070). нм) и вести наблюдение за процессом плавления. Статистический анализ выбранной области спекл-интерференционных картин на поверхности твердого образца (вольфрамовой пластины) при лазерном нагреве был применен для обнаружения начала плавления. Преимущество этого метода состоит в том, что система LH-TAOTF обеспечивает двумерное (2D) распределение температуры под LH образца с пространственным разрешением 2 мкм. Информация о распределении температуры в сочетании со статистической обработкой спекла позволяет определить площадь и температуру начала плавления

**Слайд 12(Метод определения теплопроводности веществ в DAC)**

На слайде представлены известные методы определения теплопроводности веществ в DAC. Отношение данных / параметров в случае схемы статического нагрева может быть значительно улучшено путем экспериментального измерения не только двухточечного осевого градиента температуры в LH-DAC, но и радиального распределения температуры по пятну лазерного излучения. Именно возможность получения распределения температуры совместно с распределением лазерного излучения на образце с помощью (TAOTF), имеет решающее значение для дальнейшего конечно-элементного анализа теплопроводности. Это преимущество не обеспечивает ни один из известных методов. Было проведено измерение теплопроводности железа в DAC результаты представлены на слайде **Слайд 12**.

**Слайд 13**.

**Слайд 14(НА ЗАЩИТУ ВЫНОСИТСЯ)**

1. метод поляризационного разделения системы лазерного нагрева и оптической системы, сопряжённой с акустооптическим фильтром, для измерения распределения температуры на поверхности вещества, находящегося в алмазной наковальне при высоких давлениях;
2. математический метод определения абсолютной температуры серого тела на основе одномерной минимизации метода наименьших квадратов для закона Планка.
3. методика определения распределения интенсивности излучения мощного (>100 Вт) ИК лазера на поверхности образца в ячейке высокого давления с алмазными наковальнями и получения его изображения используя TAOTF;
4. методика бесконтактного определения температуры плавления на основе спеклоинторферометрии с возможностью применения ее в DAC;
5. были получены такие результаты как теплопроводность железа при экстремальных условиях и температурах, наблюдение процесса плавления вольфрама, распределение изучения в фокусе DAC ИК лазера, нанолуковичная структура углерода является равновесной фазой давлении 70 ГПа и температуре 2400 К. Создана установка по измерению комбинационного рассеяния совместно с LH в DAC.

**Слайд 15 (Представлены публикации по теме диссертационной работы)**