

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Хлыбова Олега Анатольевича**  
**«Влияние вращающегося магнитного поля на теплообмен при  
выращивании полупроводниковых кристаллов методами направленной  
кристаллизации»**,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертация Хлыбова О.А. посвящена исследованию влияния вращающегося магнитного поля на течения, процессы переноса тепла и примеси при выращивании полупроводниковых кристаллов, а также определению оптимальных параметров магнитного поля для управления указанными процессами. В ходе выполнения работы автором были разработаны методики и созданы алгоритмы для численного решения таких сопряженных задач, как:

- моделирование влияния вращающегося магнитного поля на течение, теплоперенос и перенос примеси при выращивании полупроводниковых кристаллов методом вертикальной направленной кристаллизации;
- численное моделирование влияния вращающегося магнитного поля на течение, теплоперенос и перенос примеси при выращивании полупроводниковых кристаллов методом осевого теплопотока на фронте кристаллизации.

Было выполнено экспериментальное исследование влияния вращающегося магнитного поля на течение и перенос примеси при выращивании полупроводниковых кристаллов методом вертикальной направленной кристаллизации. Разработан пакет программ для численного решения систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, дискретизация которых производится методами конечных разностей и конечных объёмов.

Автореферат диссертации Хлыбова О.А. оставляет благоприятное впечатление, он написан ясным научным языком, и в нем отражены основные результаты работы. В автореферате диссертации четко обозначены актуальность темы исследования; ясно определены цели и задачи работы; описана научная новизна результатов, а также их теоретическая и практическая значимость. Математические модели конвекции основаны на известных уравнениях Навье-Стокса, записанных в приближении Буссинеска. Достоверность результатов обеспечивается применением хорошо зарекомендовавших себя численных методов, сопоставлением результатов с известными из литературы предельными случаями и сравнением результатов с экспериментальными данными.

Замечания к автореферату.

1. В реферате четко не определен личный вклад автора диссертации.
2. На стр. 12 написано, что «применение ВМП (вращающегося магнитного поля) в методе ОТФ порождает двухвихревое меридиональное течение с

вертикальным расположением вихрей в области между погруженным нагревателем и фронтом кристаллизации ...» и дается ссылка на рис.7. Однако, как следует из рис. 7 и подписи к нему два вихря наблюдаются в отсутствие поля, при наличии поля имеет место одновихревое течение. Не ясно, к какому случаю отсутствия или наличия магнитного поля относятся средние фрагменты на рис. 7.

В целом диссертационная работа Хлыбова О.А. удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о Присуждении ученых степеней». Хлыбов Олег Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05. – Механика жидкости, газа и плазмы.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры Общей физики факультета Прикладной математики и механики ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
614990, Пермский край, г. Пермь - ГСП, Комсомольский проспект, д. 29, а. 245, [perminov1973@mail.ru](mailto:perminov1973@mail.ru), +7 (342) 2-198-025

Перминов Анатолий Викторович  
20.09.2016

Я, Перминов Анатолий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Подпись Перминова А.

ЗАВЕРЯЮ:

Ученый секретарь ПНИПУ

В.И. Макаревич

«20» сентября 2016 г.

