

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Хлыбова Олега Анатольевича**

«Влияние вращающегося магнитного поля на тепломассообмен 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

В диссертационной работе Хлыбова О.А. исследованы вопросы влияния однородного вращающегося магнитного поля на процессы тепломассообмена при выращивании полупроводниковых кристаллов методами вертикальной направленной кристаллизации, а также представлены результаты численного моделирования для метода Бриджмена с погруженным нагревателем.

Численное моделирование выполнено на основе решения нестационарных уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости в приближении Буссинеска в двумерной осесимметричной постановке с определением положения и формы фронта кристаллизации в процессе расчета и с учетом сопряженного теплообмена со стенками ампулы. Вычисления проводились с помощью разработанного Хлыбовым О.А. пакета программ для решения систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных сеточными методами.

Весомой частью диссертационной работы Хлыбова О.А. является проведение лабораторного эксперимента по выращиванию полупроводниковых кристаллов арсенида галлия, легированных кремнием в магнитном поле и получение результатов по влиянию вращающегося магнитного поля на форму фронта кристаллизации и распределение примеси в выращенных кристаллах.

Результатом численного и экспериментального исследования работы явились данные о структуре и интенсивности течения, форме фронта кристаллизации и распределении примеси в кристалле для методов направленной кристаллизации для случаев наличия и отсутствия вращающегося магнитного поля. Представленные данные свидетельствуют о наличии положительного эффекта воздействия вращающегося магнитного поля на радиальную неоднородность примеси в кристалле. Полученные в численном моделировании результаты о снижении порога устойчивости азимутального течения, генерируемого магнитным полем, подтверждены лабораторным экспериментом.

На основе данных автореферата можно сделать следующие замечания и пожелания:

1. Отсутствуют данные по размерам использованных сеток и их влиянию на численные результаты.
2. На основе литературных данных и результатов работы диссертанта желательно было бы провести сравнение эффективности использования магнитного поля по сравнению, с

другими известными способами управления тепломассопереносом при кристаллизации, например, вращением (постоянными или переменными), уровнем тяжести и вибрационным воздействием.

3. В автореферате не приводятся данные, которые бы характеризовали интенсивность тепловой и концентрационной конвекции, например, числа Рэлея, а приводится только значение магнитного числа Тейлора.
4. Для метода Бриджмена с погруженным нагревателем не представлены данные по распределению температуры в расплаве.

Сделанные замечания не влияют на достоверность и значимость основных результатов, полученных в работе, и не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы. Диссертация представляется цельной научно-исследовательской работой и удовлетворяет требованиям «Положения о Присуждении ученых степеней» ВАК РФ, а Хлыбов О.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник ФГБУН
«Институт проблем механики имени
А.Ю. Ишлинского Российской академии наук»
(ИПМех РАН)

Федюшкин
Алексей Иванович

А.И. Федюшкин
23.09.2016г.

119526 Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1
Тел. +7-495-433-34-97,
E-mail: fai@ipmnet.ru

Я, Федюшкин Алексей Иванович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

ПОДПИСЬ *И.А. Сафронова* ЗАВЕРЯЮ:
Зав. Канцелярией *И.А. Сафронов*
" 23 09 2016 "