

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

Диссертация Хлыбова О.А. посвящена исследованию вращающегося магнитного поля (ВМП) на процессы тепло – и массообмена при выращивании кристаллов методами направленной кристаллизации. В ней выполнено численное исследование процессов кристаллизации полупроводников вертикальным методом Бриджмена и методом осевого теплового потока на фронте кристаллизации в присутствии вращающегося магнитного поля, используемых для объяснения результатов экспериментов по росту кристаллов германия.

Численные исследования, проведенные в рамках диссертационной работы, включали решение задач сопряженного тепломассообмена на основе системы уравнений Навье-Стокса в приближении Буссинеска. Задачи решались в нестационарной осесимметричной постановке в рамках изменяющейся геометрии расчетной области с вычислением положения и формы фронта кристаллизации. Численное моделирование проводилось с помощью разработанного автором пакета для решения систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных сеточными методами.

Получены данные о действии вращающегося магнитного поля на характер тепломассообмена в процессах направленной кристаллизации полупроводников; продемонстрировано положительное влияние ВМП на однородность распределения примеси в получаемых кристаллах.

Замечания по автореферату:

1. Автором внесен значительный вклад в исследования влияния ВМП на течение и массоперенос в расплаве численными методами. Однако, трудно согласиться с тем, что это сделано впервые, имея в виду работы групп специалистов, например, из Эрлангена, Фрайберга и Берлина, которые давно занимаются изучением этой проблемы для различных полупроводниковых кристаллов, включая германий.
2. Среди положений, выносимых автором на защиту, указываются данные о влиянии магнитного поля, полученные в ходе лабораторных экспериментов. Такая формулировка представляется не очень удачной, поскольку, скорее всего,

экспериментальный цикл работ в университете Фрайберга, судя по публикациям, был проведен до начала проведения работ автора по численному исследованию результатов эксперимента.

3. На рис. 3 автореферата приведено радиальное распределение примеси в кристалле, которое говорит о совершенно незначительном воздействии магнитного поля на ее изменении в объеме. Вместе с тем в работе коллег из Фрайберга (Cryst. Res. Technol. 39, No. 3, 195 – 199 (2004)) отмечается факт почти полного перемешивания примеси в объеме расплава. Можно предположить, что причиной такого расхождения является различие в уровне прилагаемого магнитного поля: в расчетах интенсивность магнитного поля составляла всего 0.3 мТл, в то время как в экспериментах она была на уровне единиц мТл, достигая значений 6.8, характерных для использования ВМП и другими экспериментаторами.
4. Для метода ОТФ наблюдаемый эффект более заметен (см. рис. 8). Однако воспользоваться полученными результатами затруднительно, т.к. параметры кристаллизации далеки от реальных, и не только по диаметру выращиваемых кристаллов, но и в части тепловых условий ОТФ роста.

Несмотря на сделанные замечания, автореферат оставляет положительное впечатление. Диссертационная работа Хлыбова О.А. «Влияние вращающегося магнитного поля на теплообмен при выращивании полупроводниковых кристаллов методами направленной кристаллизации» удовлетворяет требованиям ВАК РФ в части п. 9 «Положения о Присуждении ученых степеней», а сам автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Директор Центра материаловедения «Фотон»,
к.т.н., с.н.с.



Гоник Михаил Александрович

04.10.2016

Рабочий адрес: 601635, Россия, г. Александров, ул. Энтузиастов, 3.

Телефон: +7 (49244) 2-63-95

Электронная почта: michael.a.gonik@gmail.com

Я, Гоник Михаил Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.