

9. Патент 9672 (BY). Пирометр. *Скубилин М.Д., Письменов А.В., Бублей С.Е.* Оpubл. в 2007.
10. Патент 18654 (KZ). Пирометр. *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* Оpubл. в Б.И. – 2007. – № 7.
11. Патент 03285 (UZ). Пирометр. *Скубилин М.Д., Письменов А.В., Поляков В.В.* Оpubл. в Б.И. – 2007. – № 2.
12. Патент 2331722 (RU). Установка направленной кристаллизации расплава. // *Скубилин М.Д.* Оpubл. в Б.И. – 2008. – № 23.
13. Патент 2341593 (RU). Установка кристаллизации расплава лейкосапфира. // *Скубилин М.Д., Письменов А.В.* Оpubл. в Б.И. – 2008. – № 35.
14. Патент 427 (KZ). Установка кристаллизации расплава лейкосапфира. // *Лебедев А.С., Малюков С.П., Скубилин М.Д., Чердниченко Д.И.* Оpubл. в Б.И. – 2009. – № 4.

Скубилин Михаил Демьянович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: scubilin@hotmail.ru.

347902, г. Таганрог, 10 пер., д. 114.

Тел.: 8(86-34)371-689.

Кафедра систем автоматического управления.

Доцент.

Skubilin Michail Demijanovitch

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: scubilin@hotmail.ru.

10, street, h. 114, Taganrog, 51347902, Russia.

Phone: 8(86-34)371-689.

Department of Automatic Control Systems.

Associate professor.

УДК 621.315.592

С.П. Малюков, В.И. Зайцев, С.Н. Нелина

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ЛЕЙКОСАПФИРА ПРИ
ВЫРАЩИВАНИИ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОЙ
КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

Структурное совершенство монокристаллов, выращиваемых искусственным путем, зависит от условий выращивания, создаваемых в кристаллизационной камере. С целью получения информации о тепловых условиях выращивания монокристаллов лейкосапфира было проведено детальное исследование температурного поля в камере и в системе расплав – кристалл лейкосапфира.

Температурное поле; рост; расплав; монокристалл; сапфир.

S.P. Malyukov, V.I. Zaycev, S.N. Nelina

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN CRISTAL OF SAPPHIRE GROUTH BY HORIZONTAL DIRECTED CRYSTALLIZATION

The structural perfection of crystals growth by artificial way depends on growth conditions that created into crystallization chamber. The temperature field in the chamber and in the melt – crystal system was detail investigate to achieve information about thermal conditions of sapphire crystals growth.

Temperature field; growth; melt; crystal; sapphire.

Для проведения экспериментальных исследований температурных полей в кристаллах лейкосапфира непосредственно в технологическом процессе потребовалось ввести изменения в конструкцию теплового узла и колпака электропечи СЗВН – 155. В верхних пакетах экранной теплоизоляции по направлению продольной оси кристалла, как в зоне кристаллизации, так и в зоне отжига была сделана прямоугольная щель шириной 8мм и длиной 200мм, обеспечивающая возможность визирования ИК – пирометра на поверхность расплава и кристалла на выходе последнего из нагревателя, то есть левый срез щели совпадал с правым крайним витком нагревателя. Такая щель позволяет сканировать температурное поле в системе кристалл - расплав на всех стадиях технологического процесса, начиная от «затравления» и заканчивая отжигом полученного кристалла. Эксперименты показали, что это приводит к повышению мощности нагревателя всего на 5–7% по сравнению с конструкцией теплового узла, не претерпевшего доработку. Положение контейнера в тепловом узле относительно нагревателя определяется длиной L , $L=0$ соответствует такому положению контейнера, когда «затравка» совмещена со срезом крайнего правого витка нагревателя (рис. 1).

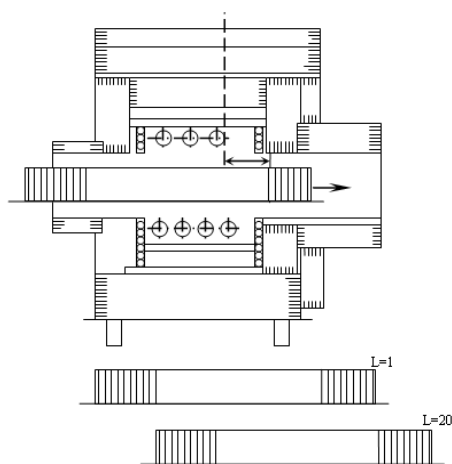


Рис. 1. Положение контейнера с кристаллом относительно нагревателя на различных этапах кристаллизации

Ранее, в [1] был подробно описан метод расчета температурных полей в кристалле для установок ГНК лейкосапфира. Для проверки адекватности математической модели радиационно-кондуктивного теплообмена (РКТ) в установке реальному физическому процессу проведем сравнение полученных экспериментальных и расчетных результатов по температурным полям в системе расплав – кристалл.

Расчетные данные для соответствующих положений кристалла, приведенные на рис. 2 (а,б,в) находятся в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными по уровню температур, хотя и обнаруживают заметную разницу в величине $\text{grad } T$ на фронте кристаллизации. Из результатов эксперимента видно, что по мере роста кристалла температурное поле в системе расплав – кристалл постоянно изменяется. Причем меняется как положение фронта кристаллизации, то есть скорость кристаллизации, так и величина градиентов температуры на фронте кристаллизации в довольно широком диапазоне (от 78 град/см до 10 град/см). Такой разброс величины $\text{grad } T$ на фронте кристаллизации предъявляет жесткие требования к программе ведения температурного режима процесса. Кроме того, из рис. 2 (а,б,в) видно, что в зоне отжига имеет место существенная нелинейность поля по длине кристалла и температура большей части кристалла (~150 мм от «затравки» в конечном положении) значительно ниже температурной границы области пластических деформаций.

С переходом температурного поля из области пластичности в область упругости при условии $\frac{d^2T}{dx^2} \neq 0$ возникают значительные термоупругие напряжения, ведущие к растрескиванию кристалла.

На основе полученных экспериментальных результатов по температурным полям в кристаллах лейкосапфира была построена зависимость положения фронта кристаллизации от положения контейнера с кристаллом в тепловом узле, приведенная на рис. 3 (кривая 2). На этом же рисунке приводится эта же зависимость (кривая 1), полученная расчетным путем.

Эксперименты показали, что процесс выращивания на установке нежелательно проводить при постоянной мощности нагревателя на протяжении всей длины кристалла. В связи с этим была разработана технологическая программа процесса выращивания, при которой фронт кристаллизации сохранял бы постоянное положение относительно нагревателя (~20 – 25 мм вправо от правого витка нагревателя). Это означает постоянную скорость кристаллизации в течение всего времени перемещения контейнера. Предлагаемая временная программа технологического процесса имеет вид, представленный на рис. 4. Полученный кристалл по предложенному технологическому процессу не содержит трещин и пузырей и является высокого оптического качества.

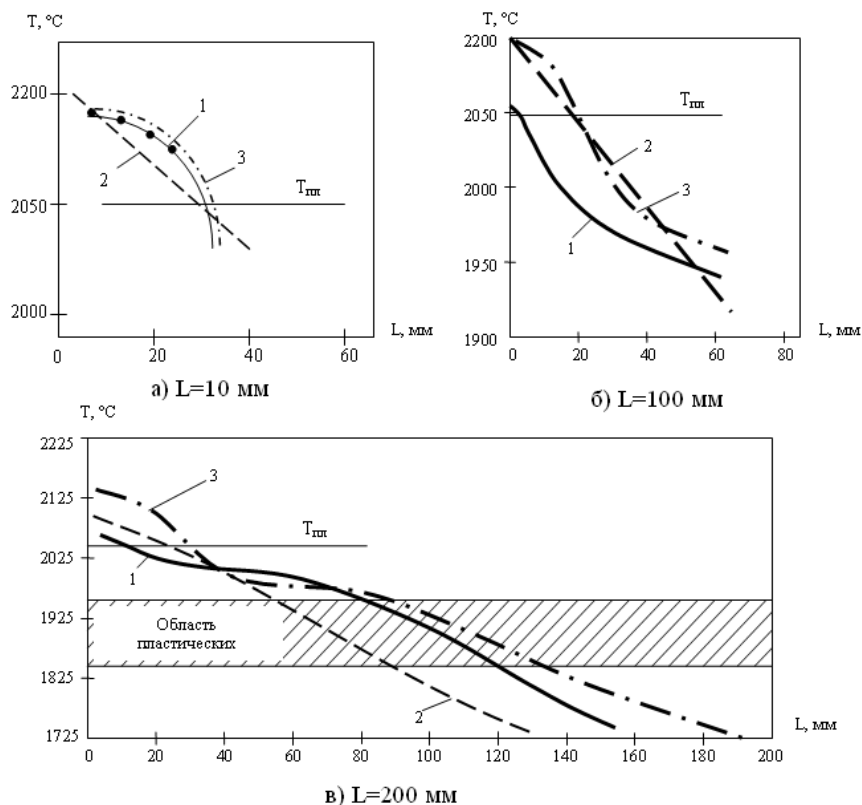


Рис. 2. Распределение температуры в системе расплав – кристалл при различной длине выращенного кристалла: 1 – при постоянной мощности нагревателя; 2 – по результатам расчетов; 3 – при программируемом изменении мощности

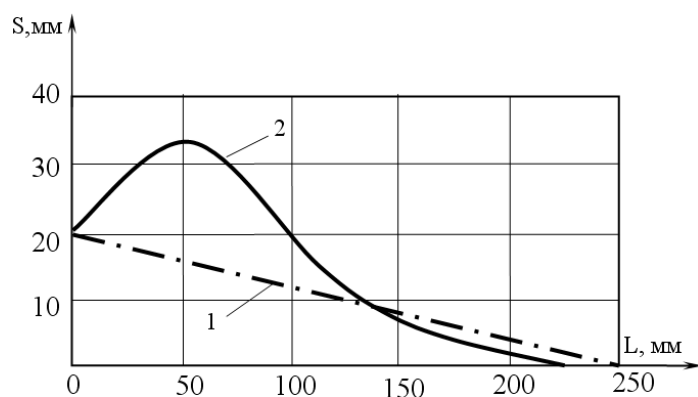


Рис. 3. Положение фронта кристаллизации в зависимости от положения контейнера с кристаллом относительно нагревателя (S – расстояние от крайнего правого витка нагревателя): 1 – эксперимент; 2 – расчетная кривая

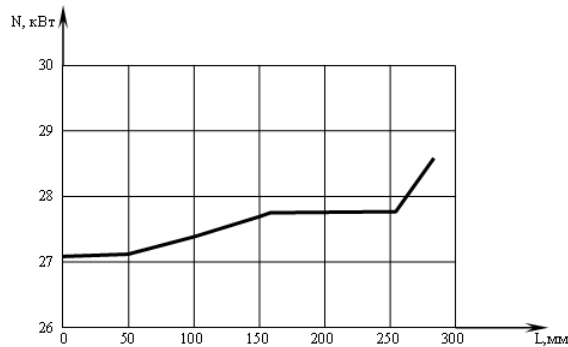


Рис. 4. Технологическая программа ведения процесса выращивания кристалла лейкосапфира на установке СЗВН

Положение фронта кристаллизации относительно нагревателя в течение этого процесса приводится на рис. 5. В связи с тем, что определение положения фронта кристаллизации осуществлялось визуально с помощью масштабной линейки, в пределах погрешности измерений можно сказать, что в этом процессе фронт кристаллизации сохранял постоянное положение.

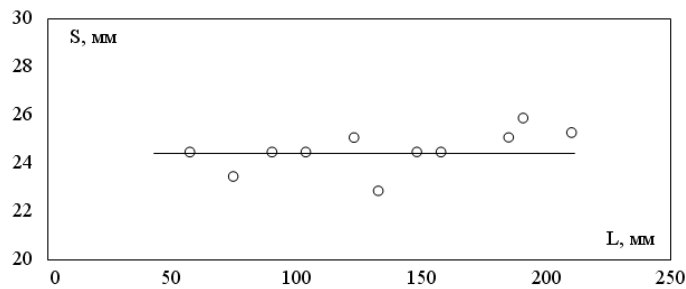


Рис. 5. Положение фронта кристаллизации в процессе роста кристалла лейкосапфира при программируемом изменении мощности нагревателя (S – расстояние от правого витка нагревателя)

В заключении можно сказать, что эксперименты, проведенные с целью определения распределения температуры на поверхности кристалла лейкосапфира в процессе его роста выявили удовлетворительное согласие с теоретическими расчетами по уровню температур, хотя и обнаружили заметную разницу в величине $\text{grad } T$ на фронте кристаллизации (78 град/см до 10 град/см). Кроме того, большая часть кристалла (150 мм) в зоне отжига находится ниже зоны пластических деформаций, что приводит к возникновению значительных термоупругих напряжений и растрескиванию кристаллов. Положение фронта кристаллизации, а, следовательно, скорость роста изменяются на протяжении всей кристаллизации, что связано с отводом тепла через уже выросший кристалл [2]. Кристаллы лейкосапфира, полученные по предложенному технологическому процессу не содержат трещин и пузырей и является высокого оптического качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бодячевский С.В., Лингарт Ю.К., Тихонова Н.А. и др.* Расчет температурных полей пластинчатых монокристаллов. Труды ВНИИЭТО, Вып.100. – М.: Энергия, 1982.
2. *Багдасаров Х.С., Горяинов Л.А., Белых И.Г., Селиванов А.С., Федоров Е.А.* Экспериментальное исследование тепловых режимов установок для выращивания тугоплавких монокристаллов по методу горизонтальной направленной кристаллизации. // Физика и химия обработки материалов. – 1980. – №4.

Малюков Сергей Павлович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kes@fep.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 8(8634)371-603.

Кафедра конструирования электронных средств.

Заведующий кафедрой.

Зайцев Владимир Иванович

ООО «Завод «Кристалл».

E-mail: wonderkristall@narod.ru.

347900, г. Таганрог, ул. Лесная Биржа, 6.

Тел.: 8(8634)383-501.

Конструктор.

Нелина Светлана Николаевна

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: nelina76@mail.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 8(8634)371-603.

Кафедра конструирования электронных средств.

Аспирантка.

Malyukov Sergey Pavlovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kes@fep.tsure.ru.

2, Shevchenko St., Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-603.

Department of Electronic Apparatuses Design

Department chair.

Zaycev Vladimir Ivanovich

Zavod Kristall Co. Ltd.

E-mail: wonderkristall@narod.ru.

6, Lesnaya Birzha street., Taganrog, 347900, Russia.

Phone: 8(8634)383-501.

Designer.

Nelina Svetlana Nikolaevna
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.
E-mail: nelina76@mail.ru.
2, Shevchenko St., Taganrog, 347928, Russia.
Phone: 8(8634)371-603.
Department of Electronic Apparatuses Design.
Post-graduate student.

УДК 621.383.06

Г.Г. Червяков, Е.Н. Осадчий

**ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СВЧ
НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С ЗАТВОРОМ ШОТКИ**

Рассмотрены шумовые процессы, протекающие в полевом транзисторе с затвором Шотки (ПТШ), при преобразовании частоты при трех разных режимах работы. Проведен сопоставительный анализ этих режимов работы для смесителей СВЧ на ПТШ.

ПТШ; коэффициент шума; эквивалентная шумовая схема; источник теплового шума; суммарное напряжение шумов; шумовой источник тока.

G.G. Chervyakov, E.N. Osadchiy

THE NOISE FEATURES OF SCHOTTKY-GATE FET SHF CONVERTERS

The noise processes, occurring in SCHOTTKY-GATE FET at frequency conversion in three modes of working, are considered. Contrastive analysis of these working modes for SHF mixer on SCHOTTKY-GATE FET is carried out.

SCHOTTKY-GATE FET; noise figure; noise equivalent; heat noise source; total noise voltage; noise current source.

При воздействии на ПТШ частот сигнала и гетеродина вместе с частотой гетеродина будет изменяться концентрация неравновесных носителей $\Delta n_-(t)$, которая приведет к появлению переменной составляющей тока стока I_c , обусловленной модуляцией толщины обедненной области. Вклад этого эффекта определяется модуляцией тока стока при изменении потенциала затвора.

В ПТШ кроме источников теплового шума, создаваемых омическими сопротивлениями областей затвора, истока и стока [1-4] следует учитывать два источника шумового тока в цепи затвора \bar{i}_3^2 и в цепи стока \bar{i}_c^2 . Первый обусловлен дробовыми шумами обратносмещенного перехода затвора, а второй обусловлен тепловым шумом канала [2].

Так как толщина канала по его длине изменяется от нуля вблизи стока до его технологической толщины W вблизи истока, можно положить среднее значение, равным $0,5W$, что соответствует проводимости канала в 2 раза меньшей, чем при отсутствии питающих напряжений, и $F_s = 0,5$. При обрат-