

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро



(43) Дата международной публикации
7 июня 2007 (07.06.2007)

РСТ

(10) Номер международной публикации
WO 2007/064247 A2

- (51) Международная патентная классификация:
C30B 13/18 (2006.01) **C30B 29/48** (2006.01)
- (21) Номер международной заявки: РСТ/RU2006/000626
- (22) Дата международной подачи:
24 ноября 2006 (24.11.2006)
- (25) Язык подачи: Русский
- (26) Язык публикации: Русский
- (30) Данные о приоритете:
2005137297 1 декабря 2005 (01.12.2005) RU
- (71) Заявитель (для всех указанных государств, кроме US): **ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "ТЕРМО А" (SPP "THERMO А" LTD.)** [RU/RU]; ул. Гагарина, 2, п/я 2а, г. Александров, 601655, Alexandrov (RU).
- (72) Изобретатели; и
- (75) Изобретатели/Заявители (только для US): **ГОЛЫШЕВ Владимир Дмитриевич (GOLYSHEV, Vladimir Dmitrievich)** [RU/RU]; ул. Октябрьская, 6, кв. 21, г. Александров, 601650, Alexandrov (RU). **ГОНИК Михаил Александрович (GONIK, Michael Alexandrovich)** [RU/RU]; ул. Ческа Липа, 10, кв. 125, г. Александров, 601655, Alexandrov (RU). **БЫКОВА Светлана Викторовна (BYKOVA, Svetlana Viktorovna)** [RU/RU]; ул. Свердлова, 39,

корп. 1, кв. 601, г. Александров, 601650, Alexandrov (RU). **ЦВЕТОВСКИЙ Владимир Борисович (TSVETOVSKY, Vladimir Borisovich)** [RU/RU]; ул. Свердлова, 39, корп. 1, кв. 314, г. Александров, 601650, Alexandrov (RU).

(74) Общий представитель: **ГОЛЫШЕВ Владимир Дмитриевич (GOLYSHEV, Vladimir Dmitrievich)**; ул. Октябрьская, 6, кв. 21, г. Александров, 601650, Alexandrov (RU).

(81) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

[продолжение на следующей странице]

(54) Title: METHOD FOR GROWING $CD_{1-x}Zn_xTe$ (CZT) MONOCRYSTALS

(54) Название изобретения: СПОСОБ ВЫРАЩИВАНИЯ $Cd_{1-x}Zn_xTe$, ГДЕ $0 \leq x \leq 1$

(57) Abstract: The invention relates to growing $CD_{1-x}Zn_xTe$ (CZT) monocrystals, wherein $0 \leq x \leq 1$, from a melt at an inert gas high pressure. The crystal growth is carried out under conditions of an axial heat flow near a crystallisation front (OTF method). Said OTF method, when applied to CZT, makes it possible to 1) to control a composition in a longitudinal direction by forming a feeding area by dividing the melt into two areas with the aid of a heater submerged into the melt (OTF heater), 2) to control the composition in a transversal direction by controlling the crystallisation front shape with the aid of said OTF heater, 3) to control the melt overheat value with the aid of heat sensors in the OTF heater, 4) to produce low-dislocation crystals by forming a thermal field near the crystallization front and 5) to increase the crystal microuniformity by forming low laminar currents near an interface surface. The grown CZT crystals are characterized by a high degree of macro- and microuniformity (deviation from a specified composition is $<0.5\%$ by volume, a mean density of etch pits is equal to $5 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2}$ without annealing).

(57) Реферат: Изобретение относится к области выращивания монокристаллов $Cd_{1-x}Zn_xTe$ (CZT), $0 \leq x \leq 1$, из расплава под высоким давлением инертного газа. Рост кристаллов идет в условиях осевого теплового потока вблизи фронта кристаллизации (ОТФ метод). Метод ОТФ в применении к CZT обеспечивает следующие возможности: управление составом в продольном направлении за счет создания зоны подпитки, благодаря делению расплава на две зоны погруженным в расплав нагревателем (ОТФ нагреватель); управление составом в поперечном направлении за счет управления с помощью ОТФ нагревателя формой фронта кристаллизации; контроль величины перегрева расплава с помощью термодатчиков в ОТФ нагревателе; возможность получения малодислокационных кристаллов за счет создания одномерного теплового поля вблизи фронта кристаллизации; повышение микрооднородности кристаллов за счет создания вблизи межфазной поверхности слабых ламинарных течений. Выраженные кристаллы CZT характеризуются высокой степенью макро и микрооднородности (отклонения от заданного состава в объеме составляют $<0,5 \text{ at } \%$, средняя плотность ямок травления $-5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$ без отжига).

WO 2007/064247 A2



CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована:

— без отчёта о международном поиске и с повторной публикацией по получении отчёта

В отношении двубуквенных кодов, кодов языков и других сокращений см. "Пояснения к кодам и сокращениям", публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюллетеня РСТ.

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**Способ выращивания $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, где $0 \leq x \leq 1$.**

Изобретение относится к области выращивания монокристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, где $0 \leq x \leq 1$, (CZT) из расплава под высоким давлением инертного газа.

Одним из наиболее распространённых способов получения кристаллов CZT является метод вертикально направленной кристаллизации (метод Бриджмена) под высоким давлением инертного газа Ar 2-10 Мпа [В. К. Комарь, А. С Герасименко, Д. П. Наливайко, «Кристаллы $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ для полупроводниковых детекторов рентгеновского и γ излучения» // «Функциональные материалы для науки и техники», Институт монокристаллов, 2001, с.167- 198; N. N. Kolesnikov, A. A. Kolchin, D.L. Alov, Yu. N. Ivanov, A.A. Chernov, M. Schieber, H. Hermon, R.B. James, M. S. Goorsky, H. Yoon, J. Toney, B. Brunett, T. E. Schlesenger, «Growth and characterization of p – type $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ ($x=0.2, 0.3, 0.4$)» // J. Crystal Growth 174 (1997) 256-262; <http://www.evproducts.com/>] (аналог 1).

Известен также способ вертикальной зонной плавки (ВЗП) под высоким давлением Ar 8-10 Мпа [Н. Н. Колесников, Н. С. Бергизиярова, «Универсальный способ выращивания кристаллов широкозонных II-VI соединений», Наука – производству 1999 №3 (16) с. 35-38] (аналог 2).

Однако эти способы выращивания монокристаллов CZT не дают возможности получить макро и микрооднородные в объёме кристаллы больших диаметров. Это связано с отсутствием подпитки в методе Бриджмена, а также с тем, что по мере роста не контролируются в полной мере форма фронта кристаллизации и другие параметры, а также меняются тепловые условия. Это приводит к изменению состава. Конвективная не стационарность, имеющая место в методах ВЗП (наличие широкой зоны расплава) и Бриджмена при больших диаметрах тигля ведет к образованию полосчатости, что нарушает микрооднородность материалов. Недостатком этих методов является перегрев расплава, который существенно возрастает при увеличении диаметра слитка, чему способствует низкая теплопроводность расплава. Перегрев расплава приводит к появлению преципитатов, а высокие градиенты температур к появлению тепловых напряжений и дислокаций.

В качестве прототипа выбран аналог 2, так как в процессе кристаллизации методом ВЗП быстрее по сравнению с методом Бриджмена наступает стационарное состояние, благодаря тому, что относительно небольшая расплавленная зона подпитывается

переплавляемым материалом исходного слитка. В результате эффективный коэффициент распределения быстрее становится равным 1.

Цель изобретения – разработка способа выращивания макро и микрооднородных малодислокационных кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, где $0 \leq x \leq 1$ диаметром до 100-150 мм.

Задача изобретения устранить недостатки присущие другим методам выращивания и обусловленные физической природой системы. К основным проблемам при кристаллизации этих систем относятся: 1) преимущественное улетучивание одного из компонентов при больших величинах парциального давления, что ведет к нестехиометрии и, как следствие, к конституционному переохлаждению, к морфологической неустойчивости межфазной поверхности и к микрон неоднородности, к появлению преципитатов и собственных дефектов, 2) зависимость температуры кристаллизации от состава, что ведет к зависимости формы межфазной поверхности от состава расплава, к конституционному переохлаждению при накоплении одного из компонентов вблизи фронта кристаллизации благодаря сегрегации, 3) высокая склонность к появлению двойников и блоков, 4) низкая теплопроводность расплава при относительно большой теплоте кристаллизации и большой теплопроводности стенок тигля ведет к вогнутой в расплав форме фронта кристаллизации, что ведет кроме всего к поперечной неоднородности, 5) неравенство коэффициента распределения (сегрегации) единице приводит к неравномерности продольного распределения состава и легирующей примеси при применении традиционных методов, 6) влияние перегрева на переохлаждение расплава при спонтанном зарождении кристалла. Летучесть компонентов ведет к неопределенности состава, а из-за влияния состава на температуру кристаллизации возникает неопределенность температуры начала кристаллизации и трудности при затравлении. Из-за неопределенности переохлаждения расплава при спонтанном затравлении возникает дополнительная причина неопределенности момента начала кристаллизации. При этом, чем выше температура перегрева расплава, тем больше летучесть компонентов. Все эти проблемы резко возрастают при увеличении диаметра растущего кристалла, так как при традиционных методах приходится сильно перегревать расплав, что бы расплавить систему на оси тигля. Из-за вогнутости фронта кристаллизации и склонности к образованию блоков в слитке образуется много блоков и двойников. При больших диаметрах из-за влияния турбулентных пульсаций расплава склонность к образованию этих дефектов растет.

Решение поставленной задачи и выше перечисленных проблем обеспечивается тем, что в качестве способа выращивания кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, где $0 \leq x \leq 1$, под высоким давлением инертного газа используется метод ОТФ [Голышев В.Д., Гоник М.А. Устройство для выращивания кристаллов // Патент Российской Федерации № 1800854 от 15. 02. 1990 г.]. Согласно изобретению реализуется возможность управления составом в продольном и поперечном направлениях за счёт погружения специального нагревателя (ОТФ нагреватель) в расплав, который делит расплав на две зоны W_1 и W_2 (см. фиг.), при этом нижняя зона является зоной роста, а верхняя зона играет роль питателя. ОТФ нагреватель размещается вблизи межфазной поверхности, что обеспечивает возможность получения малодислокационных кристаллов за счет создания малых градиентов температуры в радиальном направлении и получения малых термоупругих напряжений, обеспечивает контроль величины перегрева расплава по всему объему расплава, а также возможность повышения микрооднородности кристаллов за счет создания слабых ламинарных течений вблизи межфазной поверхности из-за малой толщины слоя расплава вблизи межфазной поверхности и подавления тепловой конвекции.

На фигуре представлена схема установки для осуществления описываемого способа. Тигель 1 располагается внутри ростовой камеры с многосекционным фоновым нагревателем (ФН) 2. Внутри тигля размещается дополнительный многосекционный нагреватель 3 (ОТФ нагреватель) в герметичном кожухе 4. ОТФ нагреватель погружается в расплав на небольшое расстояние от межфазной поверхности. Для контроля высоты слоя расплава между фронтом кристаллизации и дном ОТФ нагревателя по оси ОТФ нагревателя размещается зонд 5 (ТМЗ), внутри которого расположен термодатчик T^* . Этот зонд установлен с возможностью перемещения и измерения величины перемещения в процессе кристаллизации. Система термодатчиков 6 (T_1, T_2), 7 (T_9, T_{10}) размещается внутри ОТФ нагревателя, в дне тигля 8 (T_3, T_4) и на боковой стенке тигля 9 ($T_5 - T_8$). В коническую часть тигля загружают шихту, затем на неё устанавливают ОТФ нагреватель и сверху насыпают шихту. Зоны W_1 и W_2 , соединены между собой узким зазором δ между стенкой тигля и ОТФ нагревателем. Толщина зазора определяется из условия отсутствия обратной диффузии из зоны W_1 в зону W_2 . В зонах W_1 и W_2 устанавливается разный начальный состав. Состав расплава в зоне W_1 соответствует составу ликвидуса выращиваемого кристалла (например для кристалла состава $\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Te}$ состав ликвидуса $\text{Cd}_{0.85}\text{Zn}_{0.15}\text{Te}$), состав расплава в зоне W_2 - составу солидуса ($\text{Cd}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Te}$). Тигель устанавливают на теплоотводящую

подставку 10. ОТФ нагреватель закрепляют неподвижно относительно ФН нагревателя.

Предлагаемый способ реализуется следующим образом.

Откачивают вакуум, включают нагрев печи и при температуре 220-270° C заполняют камеру инертным газом с расчётом, что при рабочей температуре давление газа будет составлять 80-120 атм. Температуру повышают до расплавления шихты. Далее устанавливают такой температурный режим, при котором в нижней зоне создаётся перегрев расплава на 20-100 градусов, а в верхней зоне устанавливается обратный температурный градиент (температурный контроль осуществляется по термодатчикам 7). В таком состоянии систему выдерживают в течении 0,5 – 1,5 часов для стабилизации режима. Далее температуру на дне тигля медленно снижают до начала кристаллизации расплава 11 в конической части тигля и образования слоя расплава между ОТФ нагревателем и дном тигля толщиной $h = 0,5-30$ мм. Затем тигель опускают вниз со скоростью 0,5 – 6 мм/ч. При этом температуру на дне ОТФ нагревателя поддерживают постоянной, а температуру на дне тигля снижают таким образом, чтобы слой расплава под ОТФ нагревателем оставался постоянным на протяжении всего цикла кристаллизации. Для измерения высоты слоя расплава под ОТФ нагревателем в процессе кристаллизации используют ТМЗ. ТМЗ опускают вниз до момента касания межфазной поверхности. Расстояние, которое проходит ТМЗ и есть высота слоя расплава. По этим данным корректируют температурные граничные условия, которые используют при управлении кристаллизацией. С помощью секций ОТФ нагревателя, ФН нагревателя и термодатчиков 6 дно ОТФ нагревателя поддерживают изотермическим. Это приводит к тому, что под ОТФ нагревателем формируется одномерное температурное поле (осевой тепловой поток). При этом всегда величина $h < 0.13D$ (диаметр тигля) для того, что бы на оси системы температурное поле описывалось бы одномерными уравнениями переноса тепла. Это дает возможность ввести компьютерное управление положением фронта и скоростью кристаллизации по тепловой модели. Управление кристаллизацией ведут по тепловой модели с помощью высокоточной компьютерной системы управления (точность поддержания температуры менее 0.1К).

В ходе кристаллизации поддерживают постоянными следующие величины: h , $gradT$, T_1 и скорость роста. По мере вытягивания тигля вниз относительно неподвижного ОТФ нагревателя и роста кристалла расплав из зоны W2 перетекает в зону W1 и

таким образом сохраняется постоянство состава расплава в зоне W1, и как результат - постоянство состава выросшего кристалла в продольном направлении. Управление формой фронта осуществляют радиальным распределением мощности по ОТФ нагревателю, а вблизи стенок тигля осуществляют за счет перераспределения мощности между ФН и ОТФ нагревателями температуры (термодатчики 9) на боковой поверхности тигля.

Температурный режим ОТФ кристаллизации и условия кристаллизации определяются требуемым качеством (свойствами) кристалла, которое в свою очередь определяется назначением материала: для оптики, для подложек или как детекторный материал.

По окончании процесса систему охлаждают по заданной программе. Далее кристалл отжигают при температуре 750-900 С.

Данным способом были выращены монокристаллы $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, где $0 \leq x \leq 0,3$, диаметром 45 – 50 мм и высотой 70 мм, характеризующиеся высокой степенью макро и микрооднородности. На 85-90% длины кристалла отклонения от заданного состава в объёме составляли 0,5 at %. Средняя плотность ямок травления составила $5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}$ до отжига кристалла.

Осуществление выращивания в таких условиях позволяет получить монокристаллы CdZnTe большого диаметра и высоты, улучшить их качество при всех равных условиях по сравнению с другими методами.

Формула изобретения

1. Способ выращивания кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, где $0 \leq x \leq 1$, под высоким давлением инертного газа, отличающийся тем, что с целью получения макро и микрооднородных малодислокационных кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$, где $0 \leq x \leq 1$ диаметром до 100-150 мм рост кристаллов CZT осуществляется методом выращивания в условиях осевого теплового потока вблизи фронта кристаллизации (ОТФ метод).
2. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью получения плоской формы фронта кристаллизации и удешевления производства вместо погруженного в расплав нагревателя (ОТФ нагреватель) используется погруженная в расплав перегородка из высокотеплопроводного материала (например, из графита) с размещенными внутри термодатчиками (в том числе термопарами).
3. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью удешевления производства кожух ОТФ нагревателя и тигель 1 изготавливаются из особо чистого графита, в том числе используются составные тигли.
4. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью уменьшения количества примесей кожух ОТФ нагревателя и тигель изготавливаются из нитрида бора.
5. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью более точного управления формой фронта кристаллизации вдоль всего сечения кристалла используется многосекционный ОТФ нагреватель с отдельным управлением секциями или с заранее подобранным распределением мощностей.
6. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью упрощения задачи получения вблизи стенок выпуклого в расплав фронта кристаллизации стенки тигля изготавливаются из низко теплопроводного материала (например, кварцевого стекла, покрытого пиролитическим графитом или нитридом бора).
7. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью получения однородного состава в продольном направлении выращенного кристалла в зонах W_1 и W_2 изначально размещается шихта разного состава, причем в зоне W_2 размещается шихта того состава, который требуется получить в выросшем кристалле, а в зоне W_1 размещается шихта того состава, из которого, в соответствии с диаграммой состояния, растет кристалл

требуемого состава (например, при росте кристалла $\text{Cd}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{Te}$ в зоне W_2 размещается состав $\text{Cd}_{0,8}\text{Zn}_{0,2}\text{Te}$, а в зоне W_1 размещается шихта состава $\text{Cd}_{0,85}\text{Zn}_{0,15}\text{Te}$).

8. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью получения однородного продольного распределения легирующей примеси (для компенсации влияния собственных дефектов) в выросшем кристалле в зонах W_1 и W_2 (см. рис.) изначально размещается шихта с разной концентрацией легирующей примеси, причем в зоне W_2 размещается шихта с концентрацией легирующей примеси, которую требуется получить в выросшем кристалле, а в зоне W_1 размещается шихта с концентрацией легирующей примеси превышающей концентрацию в зоне W_2 в k раз, где k равновесный коэффициент распределения для этой легирующей примеси.
9. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью получения однородного распределения состава и легирующей примеси в поперечном направлении толщина слоя расплава h в зоне W_1 устанавливается в диапазоне 1 – 30 мм в зависимости от состава, типа легирующей примеси и диаметра растущего кристалла.
10. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью предотвращения обратной диффузии из зоны W_1 в зону W_2 и повышения продольной однородности распределения состава и легирующей примеси толщина зазора δ (см. рисунок) в зависимости от состава, типа легирующей примеси и диаметра растущего кристалла находится в диапазоне 0,5- 5 мм.
11. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью получения малодислокационных и однородных в поперечном направлении кристаллов, за счет создания малых термоупругих напряжений и создания одномерного теплового потока, радиальный температурный градиент $\text{grad}T_{\text{rad}}$ вдоль дна ОТФ нагревателя или перегородки устанавливается в диапазоне $0.1 \text{ град/см} < \text{grad}T_{\text{rad}} < 2 \text{ град/см}$ в зависимости от кристаллизующего состава и диаметра растущего кристалла.
12. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью повышения микро однородности растущего кристалла, за счет создания вблизи межфазной поверхности слабых ламинарных течений, рост кристалла идет при малой толщине слоя расплава h в зоне W_1 (см. рис.), которая находится в диапазоне 1 – 10 мм.

13. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью повышения однородности свойств кристалла, уменьшения числа блоков и преципитатов в процессе выращивания с помощью термодатчиков 7 и 9 по всему объему расплава контролируется величина перегрева расплава и время выдержки расплава при высокой температуре.
14. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью уменьшения переохлаждения расплава в начале кристаллизации без затравки (самозатравление) и, тем самым, уменьшения неопределенности времени начала процесса, и повышения управляемости процессом кристаллизации, а значит и качества кристалла, до начала процесса кристаллизации расплав перегревается на величину находящуюся в диапазоне $5 - 40^{\circ}\text{C}$ и выдерживается при этой температуре в течение $1 - 10$ часов в зависимости от состава, типа легирующей примеси и диаметра растущего кристалла.
15. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью устранения влияния предструктуры расплава (наличие многоатомных комплексов) на ухудшение качества растущего кристалла, повышения однородности свойств кристалла и уменьшения числа блоков до начала процесса кристаллизации расплав перегревается на величину находящуюся в диапазоне $40 - 200^{\circ}\text{C}$ и выдерживается при этой температуре в течение $0.5 - 4$ часа в зависимости от состава, типа легирующей примеси и диаметра растущего кристалла.
16. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью организации самозатравления при спонтанном зарождении кристалла на оси конусного дна тигля предусматривается цилиндрическая вертикальная полость с отношением диаметра к высоте $1/10$ с целью реализации условий для геометрического отбора.
17. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью повышения точности определения условий кристаллизации и повышения качества слитка при спонтанном зарождении используется тигель с плоским дном (на фигуре не показано), обеспечивающим, в отличие от конусного дна, одномерную задачу с самого начала кристаллизации, т.е. более точное управление зарождением кристалла.
18. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью получения монокристалла по всему объему слитка на плоском дне тигля закрепляется цилиндрическая плоскопараллельная монокристаллическая затравка с диаметром равным диаметру тигля.

19. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью определения положения фронта кристаллизации, его температуры и толщины слоя расплава, что необходимо из-за летучести компонентов и неконтролируемого изменения температуры кристаллизации, в процессе кристаллизации используется специальный зонд, установленный с возможностью измерения величины его перемещения в расплаве до контакта с фронтом кристаллизации.
20. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью определения положения фронта кристаллизации, его температуры и толщины слоя расплава в качестве зонда используется ОТФ нагреватель, устанавливаемый с возможностью измерения его перемещения вдоль вертикальной оси.
21. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью поддержания постоянных условий кристаллизации (перегрева расплава, градиента температуры в расплаве, скорости течения расплава, скорости роста), а также для повышения качества кристалла и повышения процента выхода монокристаллической годных процесс ОТФ роста ведут путем поддержания постоянной величины температуры ОТФ нагревателя и постоянной толщины слоя расплава h .
22. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью поддержания постоянной толщины слоя расплава h в контуре автоматизированной системы управления используется одномерная тепловая модель.
23. Способ выращивания по п. 1., отличающийся тем, что с целью получения качественных кристаллов кристаллизация идет при скорости вытягивания v в диапазоне: $0.5 \text{ мм/час} < v < 6 \text{ мм/час}$ в зависимости от состава, величины вертикального градиента температуры и диаметра растущего кристалла.

