

УДК 54.053, 62 -523.6

© А. В. Бородин, В. А. Бородин, Д. Н. Францев, М. В. Юдин, Т. А. Мошаров

ТЕХНОЛОГИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАЩИТНЫХ САПФИРОВЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

(краткое сообщение)

В настоящее время основные производители мобильных устройств коммуникации (смартфонов, планшетных компьютеров и т. д.) начали применять сапфир в качестве защитного материала экрана. Прочность и высокая твердость сапфира значительно повышают потребительские качества смартфонов, необходимы для планшетных устройств специального назначения. Сдерживающим фактором массового использования и замещения традиционного химически упрочненного стекла сапфиром является высокая стоимость его производства и обработки. ФГУП ЭЗАН разрабатывает и поставляет промышленное оборудование и технологии производства профилированных кристаллов сапфира, которые обеспечивают преимущества в себестоимости и производительности перед технологиями получения защитных экранов из объемных слитков.

Кл. сл.: мобильные устройства, сапфир, рост кристаллов

В настоящее время крупнейшие производители смартфонов начали использовать монокристаллический сапфир в качестве материала защитного экрана. Это может как минимум удвоить мировой рынок искусственного сапфира. Экраны изготавливаются из цилиндрических кристаллов сапфира, выращенных распространенными в производстве способами (Киропулос, или Heat exchange method). Однако высокая стоимость изготовления экрана из объемного слитка, включающая первоначальный раскрой цилиндрических буль, квадратирование и проволочную резку, вместе с высокими потерями материала не позволяют обеспечить низкую стоимость экрана.

Технология группового выращивания профилированных лент сапфира способом Степанова широко применяется для производства изделий в виде часовых стекол, смотровых окон вакуумных установок, оптических компонентов. Технология является экономически оправданной благодаря высокой производительности процесса, минимальной механической обработке кристаллов, необходимой для изготовления изделия из кристалл-заготовки, малому времени производственного цикла, низким затратам на расходные материалы. Вместе с этим малая масса загрузки тигля (как правило, не более 3 кг) установок известных производителей [1, 2] не позволяла с достаточной экономической эффективностью изготавливать изделия с характерным для защитного экрана размером (130 × 64 × 0.7–1 мм).

ФГУП ЭЗАН разрабатывает и поставляет заказчикам высокопроизводительное промышленное

оборудование и технологии для производства профилированных монокристаллических сапфировых лент и пластин, используемых для изготовления защитных экранов смартфонов. Созданы два варианта установки — с загрузкой тигля 6 и 10 кг соответственно (Приложение, рис. 1, табл. 1). Оборудование в рабочем цехе и типичные пакеты кристаллов сапфира в виде лент представлены на рисунках (Приложение, рис. 2, 3).

Оборудование спроектировано на базе современной механики и электроники, распределенных систем сбора и обработки данных, программного обеспечения управления процессом кристаллизации с возможностью адаптивного управления. Индукционный нагрев осуществляется с помощью высокостабильного транзисторного генератора мощностью до 100 кВт. Генератор разработан Отделом силовой электроники ФГУП ЭЗАН.

К настоящему моменту отработаны технологические процессы одновременного выращивания 24 пластин длиной 500 мм (установка НИКА-Профиль). Разрабатывается технология выращивания 24 пластин длиной 1000 мм для установки с загрузкой тигля 10 кг (установка НИКА-Профиль10). Экраны, изготовленные из пластин, представлены на рисунке (Приложение, рис. 4).

В Приложении, табл. 2 и 3, представлены данные о необходимых технологических процедурах производства кристалл-заготовок, их продолжительности, полное время производственного цикла, потребляемая электрическая мощность.

Проведем сравнительный анализ производительности процессов роста методами Степанова

(EFG) и Киропулоса. Как видно в Приложении, рис. 5, геометрический выход материала из булы, выращенной методом Киропулоса, составит не более 50 % от массы кристалла (удаляется верхняя часть расширения кристалла массой 10–12 кг и боковины). Действительно, масса центрального параллелепипеда равна

$$M_{\text{geom}} = (60 - 12) \left(\frac{2}{\pi} \right) = 30.56 \text{ кг.}$$

С учетом толщины проволочного реза и допусков на финишную полировку на 1 пластину со стандартным для экрана размером, равным 62 на 124 мм, потребуется 1.2 мм материала по толщине. Тогда расход материала на 1 пластину запишется в виде

$$M_{\text{screen}} = 6.2 \times 12.4 \times 0.12 \times 4 = 37 \text{ г.}$$

Общее количество пластин

$$N = \frac{M_{\text{geom}}}{M_{\text{screen}}} \times 0.8 = \frac{30560}{37} \times 0.8 = 660.$$

Здесь 0.8 (80 %) — выход материала оптического качества из кристалла, выращенного методом

Киропулоса (взяв максимальный достигнутый показатель для этого метода). Типичное время цикла выращивания 20 суток.

За этот же период времени на установке НИКА-Профиль будет выполнено 36 процессов. Согласно данным, представленным в Приложении, табл. 2, суммарная производительность составит 1872 пластины. Установка НИКА-Профиль10 проведет 20 процессов и произведет 2360 пластин.

Также следует отметить исключительно важный фактор, которым является время коррекции технологического сбоя (выращивание кристалла низкого качества). Для метода EFG оно составляет не более 24 ч, а для метода Киропулоса 20 суток. Поэтому для метода Киропулоса потери, связанные с риском выращивания кристалла низкого качества, как минимум на порядок выше этого показателя способа Степанова.

Экономический расчет показывает, что технология изготовления защитных экранов из профилированных лент сапфира обеспечивает вдвое более низкую себестоимость по сравнению с традиционной технологией производства из объемных цилиндрических булы.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Рис. 1. Ростовые модули установок Ника-Профиль и Ника-Профиль10

Табл. 1. Технические характеристики установок Ника-Профиль и Ника-Профиль10

Характеристика	Ника-Профиль	Ника-Профиль10
Внутренние диаметр и высота камеры кристаллизации, мм	750, 1300	900, 1500
Масса кристалла, кг	До 6	До 12
Диапазон измерения датчика веса, кг	– " –	До 20
Чувствительность датчика веса (статика), г	Не хуже 0.03	Не хуже 0.05
Вертикальный рабочий ход верхнего штока, мм	800	1000
Скорость вертикального перемещения верхнего штока, мм/ч	От 6 до 100.0	
Рабочий ход нижнего штока, мм	250	
Номинальная мощность транзисторного генератора, кВт	100	
Номинальная выходная частота, кГц	8–16	
Диапазон регулирования по мощности, кВт	От 1 до 100	
Стабильность по мощности	Лучше 0.05 %	
Давление инертного газа в ростовой камере, атм	Не более 1.5	
Остаточное давление в камере при выключенном индукторе, торр	Не более $2.6 \cdot 10^{-2}$	Не более $1 \cdot 10^{-5}$
Потребляемая мощность установки (без генератора), кВт	не более 4	
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	Не более 4	Не более 5
Габаритные размеры составных частей установки составляют не более (ш × д × в), мм		
Модуль ростовой камеры вместе со шкафом управления	1550 × 2000 × 3900	1550 × 2000 × 4300
Транзисторный генератор	600 × 650 × 2200	600 × 650 × 2200
Масса составных частей установки не более, кг		
Модуль ростовой камеры вместе со шкафом управления	1700	2200
Транзисторный генератор	200	
Средний срок службы установки до списания — не менее 10 лет		

**Рис. 2.** Установки НИКА-Профиль в производственном цехе

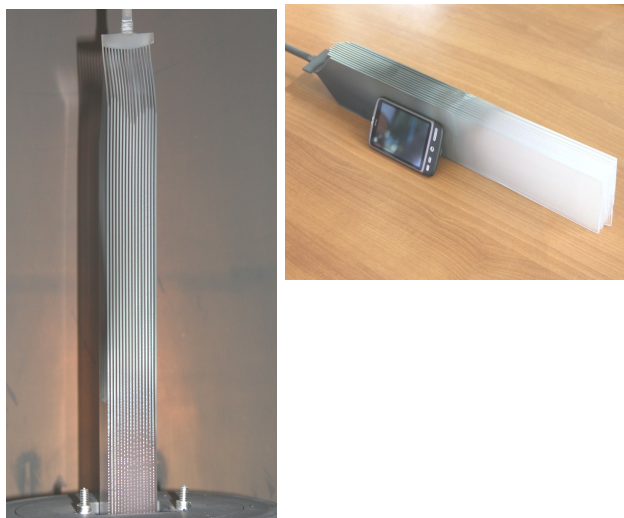


Рис. 3. Типичные пакеты лент

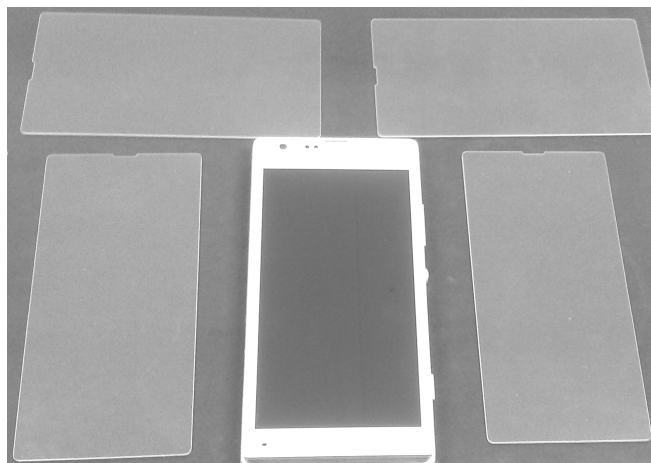


Рис. 4. Экраны телефонов

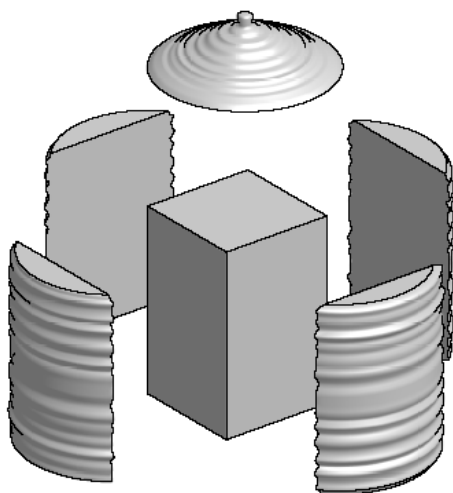
Табл. 2. Характеристики теплового узла и производительность процесса (здесь D , D_1 , D_2 — диаметр, внутренний и внешний диаметры устройства соответственно)

Установка и характеристики теплового узла, мм	Габарит заготовки, мм	Кол-во лент в пакете, шт.	Длина пакета общая, мм	Загрузка тигля, г	Макс. кол-во заготовок с 1 ленты, шт.	Макс. кол-во заготовок с пакета, шт.	Норма выхода годного, %	Кол-во заготовок с пакета
НИКА-Профиль: – индуктор $D=330$, – тигель $D_1=200$, $D_2=215$	$1.6^* \times 69 \times 126$	24	500	4800	3	72	70	52
НИКА-Профиль10: – индуктор $D=400$, – тигель $D_1=250$, $D_2=268$	$1.6^* \times 69 \times 126$	24	1200	10000	7	168	70	118

* Различия в толщинах пластин, выращенных способом Степанова и изготовленных из объемной булы, связаны с наличием дефектного приповерхностного слоя в профилированных кристаллах сапфира. Глубина слоя составляет 0.2–0.3 мм. Слой удаляется механической шлифовкой поверхности пластины.

Табл. 3. Длительность производственного цикла и потребляемая мощность

Установка	Длительность производственного цикла, ч						Полное время цикла, ч
	Откачка	Нагрев до раб. режима	Затравливание	Рост	Сброс мощности	Охлаждение установки	
НИКА-Профиль	0.5	1.5	0.5	8	0.5	2	13
НИКА-Профиль10	0.5	2	0.5	17	1	2.5	23.5
Потребляемая мощность, кВт							
НИКА-Профиль	1	40	55	55	27	0.3	
НИКА-Профиль10	1	50	70	70	33	0.3	

**Рис. 5.** Раскрой сапфировой булы, выращенной методом Киропулоса, для нарезки кристалл-заготовок

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование для выращивания профильных монокристаллов сапфира Профиль-5.
URL: (http://lugansk.all.biz/oborudovanie-dlya-vyrashchivaniya-profilnyh-g1551388#.U8URa_1_t8E) (дата обращения 15.04.2014).
2. Установка Спектр ДМ.
URL: (http://omega-crystals.com/ru/product/Spektr_DM-4.html) (дата обращения 15.04.2014).
3. *Бородин А.В.* Процессы кристаллизации и формообразования профилированных изделий из монокристаллов сапфира и разработка новых технологий их получения. Дис. ... д-ра техн. наук. М., 2010.
4. A durable and scratch-free screen cover material for next-generation mobile and touch screen devices.
- URL: (www.gtat.com/7a480e6e-3b40.../download.htm) (дата обращения 12.12.2013).
- Институт физики твердого тела РАН, Черногловка (Бородин А.В., Францев Д.Н., Юдин М.В.)*
- Экспериментальный завод научного приборостроения со Специальным конструкторским бюро РАН (ФГУП ЭЗАН), Черногловка (Бородин В.А., Мошаров Т.А.)*
- Контакты: *Юдин Михаил Викторович, mikhail-yu@inbox.ru*
- Материал поступил в редакцию: 31.07.2014

UDK 54.053, 62 -523.6

**TECHNOLOGY AND AUTOMATED EQUIPMENT
FOR THE PRODUCTION OF PROTECTIVE SAPPHIRE SCREENS
FOR PORTABLE MOBILE DEVICES**
(short message)

A. V. Borodin¹, V. A. Borodin², D. N. Frantzev¹, M. V. Yudin¹, T. A. Mosharov²

¹*Federal State Institution of Science Institute of Solid State Physics, RAS (ISSP), Chernogolovka, RF*

²*The Federal State Unitary Enterprise Experimental Factory of Scientific Engineering with the Special Design Bureau of the RAS (EZAN), Chernogolovka, RF*

Currently, the major manufacturers of mobile communication devices (smartphones, tablets) started to use sapphire as a protective material for a screen. Strength and high hardness of sapphire significantly improve consumer quality of smartphones, and is just necessary for devices required for a special purpose. The mass use and substitution of traditional chemically toughened glass with sapphire so far limited due to its high cost of production and mechanical processing. EZAN develops and delivers high-performance industrial equipment and technology for production of shaped sapphire crystals. The equipment and technology has advantages it terms of cost and productivity over the well-established techniques used for commercial production of protective screens for mobile devices.

Keywords: mobile devices, sapphire, crystal growth

REFERENCES

1. URL: (http://lugansk.all.biz/oborudovanie-dlya-vyrashchivaniya-profilnyh-g1551388#.U8URa_1_t8E).
2. URL: (http://omega-crystals.com/ru/product/Spektr_DM-4.html).
3. A durable and scratch-free screen cover material for next-generation mobile and touch screen devices. URL: (www.gtat.com/7a480e6e-3b40.../download.htm).

Contacts: *Yudin Mikhail Viktorovich, mikhail-yu@inbox.ru*

Article arrived in edition: 31.07.2014