

Неравномерность распределения температур вызывает появление высокого процента дислокаций и неоднородности оптических свойств выращиваемых на одной подложке структур [4].

В докладе представлены результаты анализа проблемы оптимизации процессов выращивания III-N материалов в реакторах газофазной эпитаксии индукционного нагрева с вращающейся подложкой.

Проанализированы причины возникновения указанных неоднородностей. Установлено, что связаны они в первую очередь с неоптимальной конфигурацией потока несущего газа и индуктора. Даны выводы по возможным путям преодоления указанных проблем.

Результаты исследования предлагается использовать в организации процесса повышения эффективности указанных реакторов, что позволит повысить качество выращиваемых структур и сократить время их роста.

#### **Список литературы**

1. B. Beaumont, P. Gibart, J. P. Faurie, Nitrogen precursors in metalorganic vapor phase epitaxy of (Al,Ga)N., Journal of Crystal Growth, 156 (1995) 140-146.
2. H. Sato, H. Takahashi, A. Watanabe, H. Ota, Preparation of GaN films on sapphire by metalorganic chemical vapor deposition using dimethylhydrazine as nitrogen source, Appl. Phys. Lett, 68 (1996) 3617-3619.
3. D. G. Chtchekine, L. P. Fu, G. D. Gilliland, Y. Chen, S. E. Ralph, K. K. Bajaj, Y. Bu, M. C. Lin, F. T. Bacalzo, S. R. Stock, Properties of low-pressure chemical vapor epitaxial GaN films grown using hydrazoic acid (HN<sub>3</sub>), J. Appl. Phys, 81 (1997) 2197-2207.
4. D.A. Neumayer, A.H. Cowley, A.Decken, R.A. Jones, V. Lakhota, J.G. Ekerdt, New Single-Source Precursor Approach to Gallium Nitride, J. Am. Chem. Soc, 117 (1995) 5893-5894.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SLS ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВА TI-NB-ZR**

*В.Ю. ЗДАТЧЕНКО<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики высоких технологий

E-mail: valeria.dances@bk.ru

На данный момент за рубежом проводятся исследования по разработке методики селективного лазерного сплавления титан-ниобиевого, а также добавление циркония порошков и нахождение оптимальных режимов сплавления, позволяющих обеспечить высокую плотность образцов и отсутствие крупных макродефектов.

Данные порошки используются при изготовлении зубных имплантат, причем форма имплантат индивидуальна для каждого пациента. Выявление оптимальных режимов сплавления позволит в дальнейшем использовать их для получения имплантат нужной для каждого конкретного пациента формы из смеси порошков титана, ниобия и циркония при этом снизить их стоимость.

Селективное лазерное спекание (SelectiveLaserSintering – SLS) – метод аддитивного производства, используемый для создания партий готовых деталей или функциональных прототипов. Процесс производства представляет собой запрограммированный цикл действий аддитивной машины. Насадка снимает слой порошка с питателя и равномерно распределяет его по поверхности подложки и возвращается обратно. После чего лазерный луч проходит по поверхности слоя порошка и формирует нужный контур. По окончанию сканирования порошкового слоя платформа с изготавливаемым изделием опускается, и процесс повторяется, рисунок 1.



Рисунок 1 - Процесс сканирования порошкового слоя

Для достижения наилучшего качества поверхности необходимо максимально минимизировать толщину слоя наносимого порошка. Кроме того, необходимо обеспечить постоянность слоя наносимого порошка, поскольку после обработки лазером слоя порошка толщиной  $x$  мкм сплавленный порошок занимает толщину  $y$  мкм, которая на  $a$  мкм меньше толщины слоя исходного порошка. Таким образом, для сохранения постоянной толщины сплавленного слоя  $y$  необходимо сохранить толщину слоя порошка  $x$  и после каждой операции сплавления опускать платформу не на высоту  $x$ , а на высоту  $x-a$ .

Перед проведением процесса камера вакуумируется до давления  $\sim 0,9$  Па, при достижении давления  $1,5$  Па включается обогрев стенок камеры. В течение первых 10 минут от момента включения обогрева давление в камере растет до значения  $\sim 3$  Па, что говорит об интенсивном газовыделении. Такая очистка поверхностей камеры, подложки, а также порошка является обязательным при проведении процесса лазерного сплавления. Если работать без предварительного прогрева, то процесс газовыделения происходит уже в процессе сплавления, что приводит к образованию крупных пор в получаемых образцах.

Большинство различных сплавов показывают более высокий модуль Юнга ( $> 70$  ГПа) по сравнению с модулем Юнга кортикальной кости (10-30 ГПа). В-титановые сплавы, системы Ti-Nb-Zn, являются одним из кандидатов для таких применений из-за его низкого Модуля Юнга ( $\sim 52$  ГПа) из-за присутствия высокотемпературной ОЦК-фазы, стабилизированной с высоким содержанием ниобия.

Поиск оптимальных параметров лазерного сплавления порошков является трудоемкой задачей. Связано это с наличием множества параметров, которые возможно менять в широких пределах.

В ходе проведения экспериментов постоянно меняют основные варьируемые параметры, для достижения лучше результатов. Основные варьируемые параметры — это мощность излучения, скорость сканирования, развертка и толщина слоя насыпаемого порошка. Используемые режимы приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Режимы SLS при проведении эксперимента

Параметры	Значения
Мощность лазерного излучения, Вт	125
Диаметр лазерного луча на поверхности, мкм	205
Расстояние между линиями сканирования, мкм	200
Скорость первого сканирования, мм/с	160
Скорость второго сканирования, мм/с	140
Давление инертного газа, атм.	1,6
Толщина слоя, мкм	100

На величину модуля упругости разрабатываемых сплавов сильное влияние оказывает и температура плавления. Чем ниже будет температура плавления, тем меньше будут силы связи атомов в твердом состоянии, а, следовательно, и ниже модуль упругости.

Для получения нужного сплава системы Ti-Nb-Zr, необходимы дальнейшие исследования основных варьируемых параметров аддитивной машины.

#### **Список литературы**

1. Composition/Phase Structure and Properties of Titanium-Niobium Alloys Materials Transactions, Vol. 44, No. 11 (2003) pp. 2384 to 2390 #2003 The Japan Institute of Metals EXPRESS REGULAR ARTICLE/
2. Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 1852–1860 SLS of a beta-solidifying Ti-6Al-4V titanium aluminide alloy.
3. Computers Biol. Med. 2013, 43, 1748–1757. Zhuravleva, K.; Bönisch, M.; Scudino, S.; Calin, M.; Schultz, L.; Eckert, J.; Gebert, A.

### **THE DEVELOPMENT OF ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION OF CERAMIC COMPONENTS AND PARTS OF A NEW TYPE BY MEANS OF SELECTIVE LASER MELTING**

*S.V.KOLMAKOV, S.A.KOITOV*  
Company: *EMBD Novator, JSC*  
E-mail: [neo-ksv@yandex.ru](mailto:neo-ksv@yandex.ru)

Increasing demands for range and intensity of maneuvering hypersonic vehicles at the moment is hampered by the complex dependent factors: weight, heat resistance and mechanical strength of structural materials at elevated temperatures. Existing to date technology of hot pressing and conventional sequential molding followed by sintering of ceramic materials, can not provide the required characteristics of the structural parts for hypersonic vehicles. This is especially true of hollow ceramic parts of cellular structure. Technology of production of ceramic units and parts by selective laser fusion, which refers to the additive technology will enable the engineering industry to solve complex materials science problems and to create a programmable structural material of cellular structure. Therefore, the formation of products on the basis of ceramic materials is developing in the direction of use of the additive technologies.

The significance of the problem being solved with the use of additive technologies from the perspective of overcoming technical, technological, resource, environmental limitations relevant to the areas of development of the country is formed by the set of advantages of additive manufacturing technologies over traditional machining of workpieces. So, for example:

- a significant savings when production is started. The data required to start the production, can be stored digitally, and reproduced without material cost;
- ability to make amendments at any stage by a simple adjustment of the CAD file;
- customization production line: additive technologies allow to make parts, in which every object (item) may be different from the previous one.
- the effectiveness of additive technologies is the increase in utilization of material, reduced weight and lower cost parts through the optimization of the technological cycle.
- ecological purity of production, since the space of additive machines are generally closed and includes in its design the filtration system, all the gases passing through the chamber is filtered from particles of powder. Unused powder during the process is sent back to the head of the production cycle.