



ПОЛУЧЕНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ "НЕОДИМ – ЖЕЛЕЗО – БОР" С ВЫСОКИМИ МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА УКРУПНЕННОЙ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКЕ

PRODUCTION OF ANISOTROPIC MAGNETIC POWDERS OF THE NEODYMIUM – IRON – BORON SYSTEM WITH HIGH MAGNETIC PROPERTIES AT AN ENLARGED PILOT PLANT

Е.М.Глебова*, науч. сотр., (ORCID: 0000-0001-8388-5980), В.И.Моломин*, к.т.н., вед. науч. сотр., (ORCID: 0000-0003-2221-1127) / emglebova@bochvar.ru

E.M.Glebova, Researcher, V.I.Molomin*, Cand. of Sci. (Technical), Leading Researcher*

DOI: 10.22184/1993-8578.2021.14.6.374.380

Получено: 21.10.2021 г.

Исследование проводилось на высокоэрцитивных анизотропных порошках из сплавов системы Nd-Fe-B, которые были получены методом высокотемпературной водородной обработки (HDDR-процесс). В процессе работы с целью уменьшения градиента температуры, созданного в результате протекания экзотермической реакции гидрирования и эндотермической реакции дегидрирования в большом объеме порошка, была применена загрузка порошка тонким слоем на тарелках, которые устанавливали одну на другую в изотермической зоне аппарата. Доказана возможность проведения HDDR-процесса в оптимальных условиях в большом объеме обрабатываемого магнитного порошка. Изготовлена опытная партия порошка Nd-Fe-B. Определены магнитные характеристики получаемого порошка: коэрцитивная сила до 840 кА/м, остаточная индукция до 1,2 Тл, энергетическое произведение до 218 кДж/м³.

The study was carried out on highly coercive anisotropic powders of the Nd-Fe-B alloy system, which were prepared by hydrogen decomposition desorption recombination (HDDR process). In order to reduce the temperature gradient created by the exothermic hydrogenation reaction and the endothermic dehydrogenation reaction in a large volume of powder, a thin layer of powder was loaded on plates which were placed one onto other inside the isothermal zone of the plant. The HDDR process has been proven to be possible under optimum conditions in a large volume of magnetic powder to be processed. Experimental batch of Nd-Fe-B powder was produced. The magnetic characteristics of the powder were determined: coercive force up to 840 kA/m, residual induction up to 1.2 Tesla and magnetic product up to 218 kJ/m³.

ВВЕДЕНИЕ

Сплавы системы "неодим – железо – бор" уникальны – из них можно получать постоянные магниты с применением методов порошковой металлургии и быстрой закалки слитков. Существует несколько способов производства магнитных

порошков, одним из которых является метод высокотемпературной водородной обработки (далее – HDDR-процесс). Метод водородной обработки – единственный способ получения крупнозернистого порошка из сплава Nd-Fe-B, имеющего высокие магнитные характеристики

* АО "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени А.А.Бочвара" (АО "ВНИИНМ"), Москва, Россия / Joint-stock company "Advanced Research Institute of Inorganic Materials named after Academician A.A.Bochvar", Moscow, Russia.



и анизотропию магнитных свойств. Структура порошка состоит из крупноразмерных кристаллитов с размером частиц 50–100 нм. Эта структура не является равновесной, и при отклонении условий водородной обработки от оптимальных она может легко измениться, что приводит к снижению магнитных свойств получаемого порошка. Поэтому соблюдение оптимального температурно-временного режима проведения процесса является обязательным условием достижения воспроизводимых высоких магнитных свойств порошка, загруженного в аппарат.

Следует отметить, что большинство опубликованных работ, в которых исследуется этот процесс, выполнялось в лабораторных условиях, и вес материала составлял, как правило, несколько грамм. Для таких количеств материала вопрос аппаратного оформления процесса проблем не вызывал. Однако при увеличении загрузки до 1,0 кг и более возникают трудности, связанные с проблемами теплопередачи. Из-за низкой теплопроводности порошка с увеличением объема загрузки затрудняется отвод тепла реакции при гидрировании порошка и подвод тепла при дегидрировании. Это приводит к созданию градиента температуры в объеме обрабатываемого порошка и, как следствие, к отклонениям от оптимального режима и снижению его магнитных характеристик.

Поэтому магнитные характеристики промышленно выпускаемых порошков хуже, чем характеристики порошков, получаемых в лабораторных условиях [1].

Для уменьшения влияния объемного фактора на процесс водородной обработки и повышения магнитных свойств порошков "неодим – железо – бор" предлагались различные конструкции реакционных аппаратов, в которых улучшен тепловой контакт порошка с отводящей и подводящей тепло поверхностью корпуса аппарата (вращающиеся печи, многоподовые печи (реакционные аппараты), шнековые реакторы и др.).

Специалистами АО "ВНИИНМ" на укрупненной опытной установке для водородной обработки порошка сплава применили следующее техническое решение: для создания одинаковых условий подвода и отвода тепла в объеме загрузки обрабатываемый порошок насыпается тонким слоем на тарелки, которые устанавливаются одна на другую в изотермической зоне аппарата. При такой загрузке в слое порошка не создаются нежелательные градиенты температур, а также есть возможность увеличивать разовую загрузку без ухудшения магнитных характеристик получаемого порошка.

Предметом данного исследования является экспериментальная проверка аппарата выбранной

INTRODUCTION

Neodymium – iron – boron alloys are unique. They can be used to produce permanent magnets using powder metallurgy and rapid ingot hardening techniques. There are several ways to produce magnetic powders, one of which is the high-temperature hydrogen processing method (hereinafter HDDR-process). The hydrogen treatment method is the only way to produce a coarse-grained powder of Nd-Fe-B alloy which has high magnetic characteristics and anisotropy of magnetic properties. The powder structure consists of large crystallites with a particle size of 50–100 nm. This structure is not an equilibrium one, and if hydrogen processing

conditions deviate from the optimum, it can easily change, resulting in reduced magnetic properties of the resulting powder. This is why maintaining the optimum process temperature and time regime is a prerequisite for achieving reproducible high magnetic properties of powder loaded into the plant.

It should be noted that the majority of the published papers examined this process performed under laboratory conditions, and the weight of the material was usually a few grams. For such quantities of material, the hardware design of production was not a problem. However, when the charge is increased to 1.0 kg or more, difficulties arise due

to heat transfer problems. Due to the low thermal conductivity of the powder, removal of reaction heat during hydrogenation of the powder and the supply of heat during dehydrogenation become more difficult as the loading volume increases. This creates a temperature gradient in the volume of the powder to be treated and, consequently, leads to deviations from the optimum mode and reduction of the magnetic characteristics. Therefore, the magnetic characteristics of industrially produced powders are worse than the powders produced under laboratory conditions [1].

To reduce the influence of the volume factor on the hydrogen



Таблица 1. Исходный состав сплавов

Table 1. Initial composition of alloys

Сплав Alloy	Содержание компонентов, мас. % Components content, w/w %							
	Nd	Fe	B	Ga	Nb	Al	Co	Zr
1	29,50	ост.	1,07	0,47	0,36	0,06	–	–
2	30,00	ост.	1,08	0,40	–	0,05	8,60	0,12

конфигурации для проведения водородной обработки магнитных порошков с разовой загрузкой 10 кг и более, а также изучение процесса получения магнитных порошков, имеющих свойства не хуже, чем у порошков, полученных в лабораторных условиях.

Исходные материалы и методика исследования

Исследования проводились на сплавах, составы которых представлены в табл.1.

В качестве исходных материалов для выплавки сплавов использовались: неодим металлический, ТУ 48-4-205-70 [2]; ферробор ФБ-17, ГОСТ 14848-69 [3]; сталь низкоуглеродистая электротехническая 10895Э, ГОСТ 11036-75 [4]; галлий металлический технический, Гл-1, ГОСТ 12797-77 [5].

Плавку слитков проводили в вакуумной индукционной печи УППФ-3М в инертной атмосфере. После выплавки слитков содержание

кислорода контролировали методом хроматографии. Для данной системы оно составляет 0,01–0,02%, для азота – 0,06–0,007%.

Компонентный состав сплавов был определен эмиссионно-спектральным методом. Контроль осуществляли с помощью стандартного образца состава магнитного сплава ОСО-4-49, разработанного в ГП "Спецмагнит" (Москва). Погрешность измерений не превышала 2% отн.

Методом ядерного гамма-резонанса на спектрометре Мессбауэра контролировался фазовый состав сплавов в исходном состоянии.

После выплавки слитки подвергались высокотемпературной водородной обработке (HDDR-обработка). В полученных порошках сплавов NdFeB контролировали содержание кислорода методом хроматографии.

Для взвешивания навесок порошков использовали аналитические весы ВЛА-200. Затем навески помещали в лодочки под тягу, далее

treatment process and to increase the magnetic properties of neodymium-iron-boron powders, various designs of reaction plants in which the thermal contact of the powder with the heat removal and supply surfaces of the plant casing were proposed (rotary furnaces, multiple-hearth furnaces (reactors), screw-type reactors, etc.).

Our specialists applied the following technical solution at the enlarged pilot plant for hydrogen treatment of alloy powder: in order to set up similar conditions for heat supply and removal in the loading volume,

the processed powder is sifted as in a thin layer on plates, which are placed one on another in the isothermal zone of the plant. Such arrangement prevents undesirable temperature gradients in the powder layer and makes it possible to increase the single charge without affecting the magnetic properties of the powder.

This study deals with experimental testing of a plant of the chosen configuration for hydrogen treatment of magnetic powders with a single charge of 10 kg or more, as well as studying the process of obtaining magnetic

powders with properties not worse than those of the powders obtained under laboratory conditions.

Initial materials and research methodology

The study was conducted on the alloys whose compositions are shown in Table 1.

The initial materials for alloy melting were: metallic neodymium, TU 48-4-205-70 [2], ferrobore FB-17, GOST 14848-69 [3], low-carbon electrotechnical steel 10895E, GOST 11036-75 [4], and technical metal gallium, Gl-1, GOST 12797-77 [5].

лодочку перемещали в открытую тигельную печь и нагревали до температуры 100–200 °С с выдержкой 100–600 ч. Влажность воздуха при комнатной температуре (25–30 °С) составляла 50–70%.

Измерение магнитных характеристик (коэрцитивная сила, остаточная индукция (или намагниченность) и энергетическое произведение) выполняли на вибромагнитометре VSM LDJ-9600 с предварительным импульсным намагничиванием.

Металлографический анализ порошков до и после испытаний проводили на оптическом микроскопе Leica.

Аппаратурное оформление процесса

На рис.1 представлена схема аппарата, изготовленного из нержавеющей стали, объемом 0,05 м³ (2). В состав установки входит аппарат-ловушка с источником чистого водорода, который заполнен гидридом титана. Откачка осуществляется ротационным форвакуумным и диффузионным насосами 2НВРД-5АМ и НВДМ-250 соответственно.

Порошок загружался на 10–16 тарелок (3), которые устанавливались одна на другую в изотермической зоне аппарата. Реакционный аппарат нагревался трехсекционной печью сопротивления, с мощностью каждой секции по 15 кВт. Регулирование температуры проводилось аналоговыми регуляторами Р133 с тиристорными усилителями.

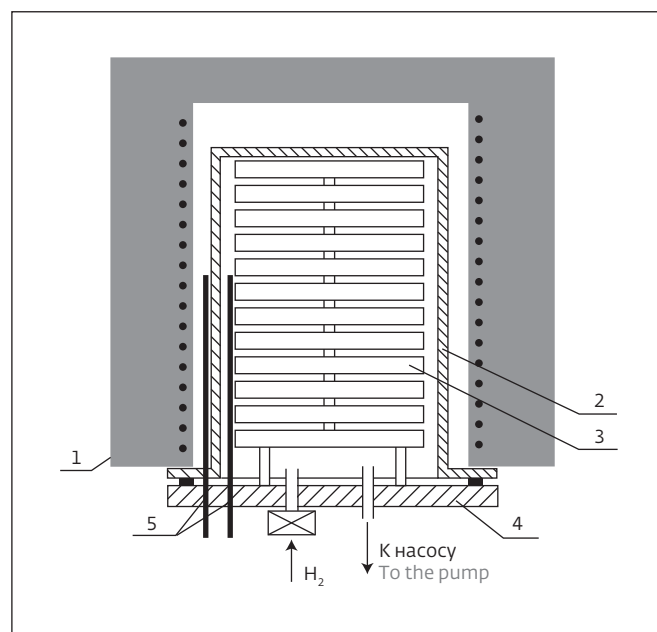


Рис.1. Схема реакционного аппарата: 1 – электрическая печь, 2 – корпус автоклава, 3 – тарелки, 4 – крышка автоклава, 5 – термопары

Fig.1. Schematic diagram of the reaction plant: 1 – electric furnace, 2 – autoclave case, 3 – plates, 4 – autoclave cover, 5 – thermocouples

Толщина слоя порошка на всех тарелках была одинаковой и составляла 15–20 мм. Масса порошка на каждой тарелке ~1000 г. Общая масса загрузки в данном аппарате может достигать до 30 кг.

The ingots were melted in a UPPF-3M vacuum induction furnace in an inert atmosphere. After ingot melting, the oxygen content was monitored by chromatography. For this system it is 0.01–0.02%, and for nitrogen 0.06–0.007%.

The component composition of these alloys was determined by the emission-spectral method. Control was carried out with the help of the standard sample composition of magnetic alloy OSO-4-49, developed in SE "Spetsmagnet", Moscow. The measurement error of the measurements did not exceed 2%.

The phase composition of these alloys in the initial state was monitored by nuclear gamma resonance method by a Mössbauer spectrometer.

After melting the ingots were subjected to high-temperature hydrogen treatment (HDDR-treatment). The oxygen content in the obtained NdFeB alloy powders was monitored by chromatography.

Analytical VLA-200 scales was used for weighing powders. Then the powders were placed in weighing boats under draught, then the boat was moved into an open crucible furnace and heated

to a temperature of 100–200 °С with an exposure time of 100–600 h. The humidity at room temperature (25–30 °С) was 50–70%.

The magnetic characteristics (coercive force, residual induction (or magnetisation) and energy product) were measured by a VSM LDJ 9600 vibromagnetometer with pre-pulse magnetisation.

Metallographic analysis of the powders before and after testing was carried out with a "Leica" optical microscope.

Process design hardware

Figure 1 shows a diagram of a stainless steel unit with a volume



Отработка процессов водородной обработки порошков сплава Nd-Fe-B на укрупненной установке

Порошки сплавов Nd-Fe-B при повышении температуры начинают поглощать газовые примеси, попавшие в аппарат через "неплотности" и выделяющиеся из стенок аппарата, то есть порошок работает, как геттер. Поэтому проведение тщательной очистки от загрязнений внутренних поверхностей аппарата при подготовке и сборке является одной из основных задач перед проведением процесса водородной обработки. Показателем качества подготовки к работе является содержание кислорода, азота и углерода в полученном порошке.

Режимы проведения водородной обработки выбраны на основании выводов и рекомендаций по работе [6, 7].

Поскольку тепловая инерция аппарата на укрупненной установке больше, чем на лабораторной, продолжительность нагрева и охлаждения большого аппарата увеличивается. Однако это отличие не приводит к ухудшению магнитных свойств получаемого порошка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На укрупненной установке было проведено 10 опытных процессов водородной обработки сплавов Nd-Fe-B выплавленного состава (табл.1).

Были отобраны пробы из центральной части и периферии каждой тарелки по всей высоте

Таблица 2. Магнитные характеристики порошка сплава № 1 (см. табл.1)

Table 2. Magnetic characteristics of alloy No. 1 powder (Table 1)

Номер тарелки Plate No.	Место отбора пробы Location of a probe	H _{ci} , кА/м kA/m	B _r , Тл T	(BH) max, кДж/м³ kJ/m³
1	Центр Centre	672,1	1,15	178,9
	Периферия Periphery	650,3	1,17	187,7
3	Центр Centre	628,0	1,15	177,0
	Периферия Periphery	657,5	1,16	183,4
5	Центр Centre	650,9	1,15	180,1
	Периферия Periphery	670,0	1,17	182,3
8	Центр Centre	674,2	1,16	185,9
	Периферия Periphery	726,0	1,14	183,2
10	Центр Centre	647,9	1,20	184,8
	Периферия Periphery	682,2	1,24	186,7
11	Центр Centre	612,9	1,20	189,7
	Периферия Periphery	713,2	1,20	201,5
13	Центр Centre	683,0	1,23	196,5
	Периферия Periphery	719,6	1,15	195,4
Среднее Average		671,0	1,18	187,8

of 0.05 m³ (2). The unit includes a trap stand with a source of pure hydrogen which is filled with titanium hydride. Pumping is carried out by rotary forevacuum and diffusion pumps 2HVRD-5AM and NVDM-250, respectively.

The powder was loaded onto 10-16 plates (3) which were placed one on top of the other in the isothermal zone of the unit. The reaction stand was heated by a three-section resistance furnace, with a power output of 15 kW in each section. Temperature control was carried out by P133 analog regulators with thyristor amplifiers.

The powder layer thickness on all plates was the same and equaled 15-20 mm. The powder weight on each plate was ~1000 g. The total loading weight in this unit can reach up to 30 kg.

Hydrogen treatment of Nd-Fe-B alloy powders on an enlarged plant

When the temperature rises, Nd-Fe-B alloy powders begin to absorb gas impurities trapped into the plant through "leaks" and released from the plant walls, i.e. the powder works as a getter. Therefore, carrying out thorough cleaning of the internal surfaces of the plant during

preparation and assembly is one of the main tasks before commencement of the hydrogen treatment process. The preparation stage quality can be checked by the contents of oxygen, nitrogen and carbon in the resulting powder.

The modes of hydrogen treatment were selected on the basis of the conclusions and recommendations contained in [6, 7].

Since the thermal response of the unit in the enlarged plant is greater than in the laboratory unit, the heating and cooling time of the large plant is longer. However, this difference



загрузки и определены магнитные характеристики (табл.2).

Из данных, приведенных в табл.2, видно, что принятый способ загрузки порошка на тарелках позволил получить материал с практически одинаковыми магнитными свойствами во всем объеме загрузки по высоте аппарата и по радиусу. Отклонения значений магнитных свойств от среднего значения не превышали ошибки их определения на магнитометре.

Были проведены опытные процессы HDDR-обработки порошка сплава № 1 и 2. Средние значения магнитных свойств полученных порошков определялись вдоль оси легкого намагничивания (табл.3).

Из данных табл.3 видно, что при проведении процессов водородной обработки по оптимальному режиму на укрупненной опытной установке обеспечивается высокая воспроизводимость получаемых результатов: магнитные свойства порошков одного состава, полученных в разных процессах, различаются незначительно. Анализом порошков из разных процессов было установлено, что загрязнения порошка углеродом, азотом и кислородом в процессе его гидрирования и вакуумирования не происходило: содержание азота и углерода определено в количестве 0,03% и менее, содержание кислорода составляло до 0,1–0,2% масс.

Полученные порошки имеют магнитные свойства, близкие к свойствам порошков сплавов Nd-Fe-B, сообщаемым в литературных источниках для сплавов, имеющих сходный состав.

Таблица 3. Средние значения магнитных свойств порошков сплавов "неодим – железо – бор", полученные при водородной обработке

Table 3. Average values of magnetic properties of neodymium-iron-boron alloy powders obtained by hydrogen treatment

Сплав Alloy	Номер Процесса Number of process	Hci, кА/м kA/m	Br, Тл T	(BH)max, кДж/м³ kJ/m³
1	1	678,0	1,19	187,8
	2	686,2	1,20	188,3
	3	688,4	1,21	190,3
	4	679,8	1,19	188,1
	5	687,5	1,21	189,2
2	6	745,9	1,13	147,0
	7	745,3	1,11	149,8
	8	750,6	1,09	156,4
	9	749,3	1,10	155,9
Повторный процесс Repeated process	10	855,7	1,08	180,2

does not lead to a deterioration of the magnetic properties of the obtained powder.

RESULTS AND DISCUSSION

Ten pilot hydrogen treatment processes of NdFeB alloys of the melted composition were carried out at the enlarged plant (Table 1).

Samples were taken from the centre and periphery of each plate over the entire loading height and their magnetic characteristics were determined (Table 2).

From the data shown in Table 2 it is clear that the chosen method

of charging the powder on plates made it possible to obtain material with practically identical magnetic properties throughout the entire loading volume along the height of the unit and along the radius. The deviations of the values of the magnetic properties from the average value did not exceed the error of their determination with the aid of magnetometer.

Experimental HDDR-treatment processes of alloy powder No. 1 and No. 2 were carried out. The average values of magnetic properties of the obtained powders were determined along

the axis of light magnetization (Table 3).

It is clear from table 3 that the hydrogen treatment processes carried out according to the optimal regime in the enlarged pilot plant ensure high reproducibility of the obtained: the magnetic properties of powders of the same composition obtained in different processes differ insignificantly. The analysis of powders from different processes showed that there was no contamination of powders with carbon, nitrogen and oxygen during hydrogenation and vacuum degassing: the nitrogen and carbon content was determined to be 0.03% or less,



В последней строке табл.3 приведены магнитные характеристики порошка после повторной водородной обработки. Повторение процесса привело к существенному повышению магнитных свойств получаемого порошка. Такой прием может быть полезен для исправления брака.

Таким образом, на основе анализа полученных результатов было показано, что выбранная конструкция реакционного аппарата может быть рекомендована для создания оборудования, рассчитанного на получение нескольких десятков килограммов магнитного порошка за операцию.

ВЫВОДЫ

С целью обеспечения оптимальных условий проведения процесса, во всем объеме загруженного в реакционный аппарат порошка сплава применена схема загрузки порошка тонким слоем на тарелки, которые устанавливаются в изотермической зоне реакционного вакуумного аппарата одна на другую.

Конструкция реакционного аппарата, испытанная в данной работе, может быть рекомендована для создания оборудования, рассчитанного на получение нескольких десятков килограммов магнитного порошка за одну операцию и может быть масштабирована при использовании автоклавов большего объема.

Проведенные исследования процесса высокотемпературной водородной обработки сплавов "неодим – железо – бор" на укрупненной

опытной установке позволили получить хорошие, воспроизводимые результаты.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Mottram R., Yartys V., Harris I.R. Application of Hydrogen vibration milling in the processing of NdFeB and (Nd, Pr) FeB permanent magnets // 5th Int. Conf. "Hydrogen materials and chemistry hydriding metals" 97. P. 185.
2. ТУ 48-4-205-70. Неодим металлический. Технические условия.
3. ГОСТ 14848-69. Ферробор. Технические условия.
4. ГОСТ 11036-75. Сталь электротехническая.
5. ГОСТ 12797-77. Галлий металлический технический.
6. Потапенко Е.М., Моломин В.И., Малюков Е.Е. Изучение процесса получения магнитных порошков из сплава Nd-Fe-B методом водородного диспергирования. Тезисы конференции МАЯТ-ОФИЭ-2006, 2006. С. 104.
7. Потапенко Е.М., Моломин В.И., Малюков Е.Е. Формирование высококоэрцитивного структурного состояния при водородной обработке сплава неодим – железо – бор. Перспективные материалы. 2008. С. 254–257.

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

the oxygen content was up to 0.1–0.2 % wt.

The obtained powders have magnetic properties similar to those of Nd-Fe-B alloy powders reported in the literature for alloys of similar composition.

The last line in Table 3 shows the magnetic properties of the powder after the second hydrogen treatment. Repetition of the process resulted in a significant increase of the magnetic properties of the resulting powder. Such a technique can be useful for the correction of defects.

Thus, based on the analysis of the obtained results, it was shown

that the chosen design of the reaction unit can be recommended for the equipment designed to produce several tens of kilograms of magnetic powder per cycle of operation.

CONCLUSIONS

In order to ensure optimum conditions for the process, in the entire volume of alloy powder loaded into the reaction unit, a scheme for charging the powder as a thin layer onto plates that are positioned one on top of the other in the isothermal zone of the reaction vacuum stand has been applied.

The design of the reaction unit tested in this study can be

recommended for the equipment designed to produce several tens of kilograms of magnetic powder in a single operation and can be scaled up using the larger volume autoclaves.

The research carried out on the high-temperature hydrogen treatment of neodymium-iron-boron alloys in the enlarged pilot plant enabled to obtain good and reproducible results. ■

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Белоус А.И.,
Красников Г.Я.,
Солодуха В.А.

Основы проектирования субмикронных микросхем

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 782 с.
ISBN 978-5-94836-603-6

Цена 1960 руб.

В объеме 14 глав одной книги детально и последовательно рассмотрен весь комплекс взаимосвязанных теоретических и практических аспектов сквозного проектирования и организации производства кремниевых субмикронных микросхем: теоретические основы работы полевых и биполярных транзисторов, методы и особенности конструктивно-схематического проектирования, базовые схемотехнические и системотехнические решения биполярных, КМОП-, БиКМОП- и КНИ-микросхем, методы и средства повышения их радиационной стойкости, стандартные библиотеки проектирования и типовые маршруты проектирования.

Впервые в отечественной научно-технической литературе здесь детально рассмотрены методы логического проектирования КМОП-микросхем с пониженным энергопотреблением, а также основные принципы и методы проектирования кибербезопасных микросхем и систем-на-кристалле.

Детально рассмотрены современные методы и средства управления качеством изготовления субмикронных микросхем, современные технологии корпусирования микросхем, систем-на-кристалле и систем в корпусе.

Отдельная глава посвящена анализу состояния и тенденций развития современной микроэлектроники, включая методологический анализ существующих проблем и новых угроз.

Книга ориентирована на широкий круг читателей: студентов и преподавателей технических университетов, а также инженеров и менеджеров, специализирующихся в области разработки и организации производства субмикронных микросхем.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphere.ru
sales@technosphere.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphere.ru