



ЭЛЕМЕНТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И КОНСТРУКТИВНАЯ ИНТЕГРАЦИИ ПРИ СОЗДАНИИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР

ELEMENT-TECHNOLOGICAL AND CONSTRUCTIVE INTEGRATION WHEN CREATING MICROELECTRONIC INSTRUMENT STRUCTURES

М.Г.Мустафаев*, к.т.н., (ORCID: 0000-0002-4250-7972), Д.Г.Мустафаева*, к.т.н., доцент, (ORCID: 0000-0002-1694-1230),
Г.А.Мустафаев*, д.т.н., проф., (ORCID: 0000-0002-3407-3596) / dzhamilya79@yandex.ru
M.G.Mustafaev*, Cand. of Sc. (Technical), (ORCID: 0000-0002-4250-7972), D.G.Mustafaeva*, Cand. of Sc. (Technical), Docent,
(ORCID: 0000-0002-1694-1230), G.A.Mustafaev*, Doctor of Sc. (Technical), Prof., (ORCID: 0000-0002-3407-3596)

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.2.108.112

Получено: 27.01.2020 г.

В технологическом процессе изготовления микроэлектронных приборных структур, особенно при производстве с субмикронными минимальными размерами, усиливается взаимосвязь между параметрами приборных структур и технологией их изготовления. При уменьшении размеров элементов приборных структур определение параметров профиля примесей и их электрических параметров, установлении обратной связи между характеристиками прибора и технологией его изготовления приобретает преобладающее значение. Показано, что физико-технологическое моделирование позволяет прогнозировать характеристики микроэлектронных приборных структур и устанавливать корреляции технологических и электрических параметров элементов, возможность их оптимального проектирования. Моделирование технологии изготовления приборных структур обеспечивает имитации поведения элементов интегральной электроники в рабочих условиях и расчет их электрических характеристик и параметров, позволяет снизить время проектирования приборов и одновременно обуславливает вероятность оптимизации режимов технологии, геометрических размеров, конструкций элементов интегральной электроники, достижения оптимальных для данного уровня технологии быстродействия и степени интеграции. Интеграция методов физико-технологического проектирования субмикронных тонкослойных приборных структур обеспечивает управление технологическим процессом. Результаты моделирования технологического процесса вместе со значениями электрических режимов представляют собой исходные данные для моделирования приборных структур, которые позволяют рассчитать их важнейшие электрофизические и электрические характеристики.

In the technological process of manufacturing microelectronic device structures, especially in production with submicron minimum dimensions, the relationship between the parameters of device structures and the technology for their manufacture is strengthened. With a decrease in the size of the elements of the instrument structures, the determination of the profile parameters of impurities and their electrical parameters, the establishment of feedback between the characteristics of the device and its manufacturing technology becomes prevailing. It is shown that physical and technological modeling allows predicting the characteristics of microelectronic

* ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)".



device structures and establishing correlations of technological and electrical parameters of elements, the possibility of their optimal design. Modeling the technology for manufacturing instrument structures provides simulations of the behavior of integrated electronics elements under operating conditions and the calculation of their electrical characteristics and parameters, reduces the design time of devices, and at the same time determines the likelihood of optimizing technology modes, geometric dimensions, designs of elements of integrated electronics, and achieving optimal technologies for a given level of technology speed and degree of integration. The integration of methods of physical and technological design of submicron thin-layer instrument structures provides process control. The simulation results of the technological process together with the values of the electrical modes are the initial data for the simulation of instrument structures, which allow us to calculate their most important electrophysical and electrical characteristics.

ВВЕДЕНИЕ

Существующие ограничения схемно- и системно-технического проектирования при создании элементов интегральной электроники, которые существенно влияют на основы технологии, все больше определяются металлизированными межсоединениями [1, 2]. Технологическое оборудование, применяемое в технологии интегральной электроники, находится в тесной связи

с достижениями в технологии металлизации. Одной из характерных особенностей развития больших элементов интегральной электроники, в частности логических матричного типа, стало возрастание роли межсоединений элементов.

Конструктивно-технологическая интеграция при создании микроэлектронных приборов. Элементы интегральной электроники рассматривают как совокупность активных

INTRODUCTION

The existing limitations of circuit and system engineering when creating integrated electronics elements that significantly affect the foundations of technology are increasingly determined by metallized interconnects [1, 2]. Technological equipment used in integrated electronics technology is closely linked to advances in metallization technology. One of the characteristic features of the development of large elements of integrated electronics, in particular logical matrix type, was the increasing role of interconnections of elements.

Structural and technological integration in the creation of micro-electronic instrument structures. Elements of integrated electronics are considered as a set of active elements interacting through interconnects (a system of signal conductors). The active element is the main component of integrated electronics. The relationship between the active element – the transistor structure and

the technology of its manufacture is the essence of developments with submicron sizes, focused on achieving ultra-fast performance and the degree of integration of the element-technological and structural base.

Modeling of integrated electronics elements is considered as a means for identifying the distribution and control of their output electrical parameters, when due to technological deviations inherent in submicron instrument structures, control of the absolute value of the statistical spread of parameters determining the speed and quality of structure performance comes to the fore [3–5]. When physico-technological modeling and design of elements, it is necessary to take into account a number of aspects due to:

- physical limitations;
- alternatives to design decisions;
- optimization of the process.

When developing instrument structures and elements of integrated electronics, it is necessary

to know the physical distribution of impurities (technological modeling), and take into account the influence of impurity profiles on the electrical characteristics of the device (physical and technological modeling). Modeling of the manufacturing technology of instrument structures provides an imitation of the behavior of integrated electronics elements under operating conditions and calculation of their electrical characteristics and parameters. It allows you to reduce the design time of devices, and at the same time increase the likelihood of optimizing technology modes, geometric dimensions, designs of elements of integrated electronics, to achieve optimal performance technologies for this level and degree of integration.

The measurement of electrical and electrophysical parameters of structures is laborious and is characterized by a significant error. In this regard, the use of methods of physical and technological modeling to



элементов, взаимодействующих через межсоединения (систему сигнальных проводников). Активный элемент является основной составной частью элементов интегральной электроники. Связь между активным элементом – транзисторной структурой и технологией его изготовления – является сущностью разработок с субмикронными размерами, ориентированных на достижение сверхбыстродействия и степени интеграции элементно-технологической и конструктивной базы.

Моделирование элементов интегральной электроники рассматривают как средство для выявления распределения и контроля их выходных электрических параметров, когда вследствие технологических отклонений, присутствующих для субмикронных приборных структур, на передний план выходит контроль абсолютного значения статистического разброса параметров, определяющих быстродействие и качество исполнения структуры [3-5]. При физико-технологическом моделировании и проектировании элементов необходимо учитывать ряд аспектов, обусловленных:

- физическими ограничениями;
- альтернативами проектных решений;
- оптимизацией технологического процесса.

При разработке приборных структур и элементов интегральной электроники необходимо знать физическое распределение примесей (технологическое моделирование) и учесть влияние профилей примесей на электрические характеристики прибора (физико-технологическое

моделирование). Моделирование технологий изготовления приборных структур обеспечивает имитацию поведения элементов интегральной электроники в рабочих условиях и расчет их электрических характеристик и параметров. Оно позволяет снизить время проектирования приборов, и одновременно увеличить вероятность оптимизации режимов технологии, геометрических размеров, конструкций элементов интегральной электроники, достигая оптимальных для данного уровня технологии быстродействия и степени интеграции.

Измерение электрических и электрофизических параметров структур трудоемко и характеризуется значительной погрешностью. В этой связи использование методов физико-технологического моделирования для идентификации электрических параметров приборных структур в установлении обратной связи между характеристиками прибора и технологией его изготовления является оптимальным.

Применение моделирования технологии и приборных структур при изготовлении элементов интегральной электроники обеспечивает: точность, скорость, системную интегрируемость и сервисные возможности. Точное определение параметров профиля примесей и электрических параметров приборных структур приобретает доминирующее значение по мере уменьшения размеров элементов.

Применение методов физико-технологического моделирования для субмикронных

identify the electrical parameters of instrument structures in establishing feedback between the characteristics of the device and its manufacturing technology is optimal.

The application of modeling technology and instrument structures in the manufacture of integrated electronics provides: accuracy, speed, system integrability and service capabilities. The exact determination of the profile parameters of impurities and the electrical parameters of instrument structures becomes dominant as the size of the elements decreases.

Application of methods of physical and technological modeling

for submicron elements of integrated electronics – determination and establishment of physical limitations and limits, critical functional characteristics and parameters for the design and manufacture of instrument structures.

Physicotechnological modeling allows us to study the tolerances in the technology and identify the dominant factors that can affect the manufacturing process of integrated electronics and output. It is also possible to use technological models as effective controllers of technological equipment and to conduct real-time modeling using

computer equipment used in process control.

The need for process control requires the integration of methods of physical and technological design of submicron thin-layer instrument structures. At the system level, with a high degree of integration, modeling of technology and instrument structures is necessary.

When modeling technologies, aspects of manufacturing elements of integrated electronics are taken into account. The simulation results of the technological process together with the values of electrical modes, electrophysical constants, etc. represent the



элементов интегральной электроники – определение и установление физических ограничений и пределов, критических функциональных характеристик и параметров для проектирования и изготовления приборных структур.

Физико-технологическое моделирование позволяет исследовать допустимые отклонения в технологии и выявить доминирующие факторы, которые могут влиять на процесс изготовления элементов интегральной электроники и выхода годных. Возможно также использование технологических моделей в качестве эффективных контроллеров технологического оборудования и для проведения моделирования в реальном масштабе времени на средствах вычислительной техники, используемых при управлении технологическим процессом.

Необходимость управления технологическим процессом требует интеграции методов физико-технологического проектирования субмикронных тонкослойных приборных структур. На системном уровне при высокой степени интеграции необходимо моделирование технологии и приборных структур.

При моделировании технологий учитываются аспекты изготовления элементов интегральной электроники. Результаты моделирования технологического процесса вместе со значениями электрических режимов, электрофизических констант и т.д. представляют собой исходные данные для моделирования приборных структур, которые рассчитывают их

важнейшие электрофизические и электрические характеристики.

Таким образом, многоуровневое моделирование элементов интегральной электроники позволяет точно прогнозировать их характеристики. Все это обуславливает эффективное управление и установление корреляций технологических и электрических параметров элементов и приборов, возможность оптимального проектирования элементов интегральной электроники.

В технологическом процессе изготовления элементов, особенно при производстве с субмикронными минимальными размерами, усиливается взаимосвязь между параметрами приборных структур и технологией их изготовления. Физико-технологическое моделирование в разработке перспективной элементно-технологической и конструктивной базы становится злободневной.

Для успешной реализации физико-технологического моделирования необходимо использование современной аппаратуры, позволяющей измерять различные структурные и электрофизические параметры полупроводниковых материалов: вторично-ионные масс-спектрометры, сканирующие электронные микроскопы и т.д. В большей степени это относится к моделированию технологических процессов, где без надежной метрики невозможны создание новых и модификация практически используемых моделей.

initial data for modeling instrument structures, which calculate their most important electrophysical and electrical characteristics.

Thus, multi-level modeling of integrated electronics allows accurate prediction of their characteristics. All this leads to effective control and correlation of technological and electrical parameters of elements and devices, the possibility of optimal design of elements of integrated electronics.

In the technological process of manufacturing elements, especially in production with submicron minimum dimensions, the relationship between the parameters

of instrument structures and the technology for their manufacture is strengthened. Physicotechnological modeling in the development of a promising elementary technological and structural base is becoming topical.

For the successful implementation of physical and technological modeling it is necessary to use modern equipment that allows you to measure various structural and electrophysical parameters of semiconductor materials: secondary-ion mass spectrometers, scanning electron microscopes, etc. To a greater extent, this relates to the modeling of technological processes, where

without reliable metrics it is impossible to create new and modify practically used models.

CONCLUSIONS

In the technological process of manufacturing instrument structures with submicron sizes, the relationship between the parameters of instrument structures and the technology for their manufacture is strengthened. Multilevel modeling of integrated electronics elements allows us to predict their characteristics, effective control and correlation of technological and electrical parameters of elements, the possibility of their optimal design. ■



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В технологическом процессе изготовления приборных структур с субмикронными размерами усиливается взаимосвязь между параметрами приборных структур и технологией их изготовления. Многоуровневое моделирование элементов интегральной электроники позволяет прогнозировать их характеристики, эффективное управление и установление корреляций технологических и электрических параметров элементов, возможность их оптимального проектирования.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Мустафаев М.Г., Мустафаева Д.Г., Мустафаев Г.А. Формирование многоуровневой системы межсоединений и повышение производительности процесса при создании элементов интегральной электроники // НАНО-ИНДУСТРИЯ. 2019. Т. 12. № 6. С. 38-41.
2. Мустафаева Д.Г., Мустафаев Г.А. Воспроизводимость и стабильность технологии и параметров структур микроэлектронных приборов // НАНОИНДУСТРИЯ. 2019. Т. 12. № 5. С. 56-59.
3. Петров М.Н., Гудков Г.В. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем. – М.: Лань, 2011, 464 с.
4. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высшая школа. 1989. 320 с.
5. Мустафаев М.Г., Мустафаева Д.Г. Моделирование и алгоритмизация неравновесных процессов при создании микроэлектронных приборных структур // Нано- и микросистемная техника. 2016. Т. 18. № 6. С. 346-356.

НОВАЯ СТРАТЕГИЯ СОЗДАНИЯ ДВУМЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОРЯДКА

Границы зерен обычно распознаются как двумерная "фаза", но могут проявлять новые свойства, не свойственные объемному кристаллу. Изменения непрерывности связи атомов на границах зерен приводит к резкому изменению локальной химической среды в нескольких элементарных ячейках, что приводит к изменению локальной электрической активности, магнитного порядка и других физических свойств. Влияние границ зерен на химические свойства более существенно в сложных оксидах из-за сильного взаимодействия решеток и параметров порядка. Такая неоднородность материалов с межзеренными границами может доминировать при формировании отклика в наноразмерных устройствах, что очень важно при разработке новых функциональных устройств.

В статье, опубликованной в Институте физики Пекинского университета и Университета Тяньцзиня представлен атомный механизм магнитосопротивления спинового клапана на границе асимметрии

зерен SrRuO_3 , чья асимметричная атомная структура сильно отличается от основанного на прототипе перовскита SrTiO_3 . Измерения переноса демонстрируют магнитосопротивление спинового клапана для созданной границы сантиметрового и субмикронного масштабов (менее $\Sigma 5$ (310) SrRuO_3). С помощью сканирующей просвечивающей электронной микроскопии и спектроскопии зафиксировано ее атомное строение, на основе которого проведены расчеты его электронных свойств этих границ.

Обнаружено, что из-за искажения октаэдра Ru-O вблизи асимметричной границы зерна орбита Ru d восстанавливается, что приводит к уменьшению магнитных моментов и изменению спиновой поляризации вдоль границы зерна, образуя магнитный (или немагнитный) переход. Расчеты основаны на связи атомной структуры с транспортными свойствами.

"Наши результаты могут помочь нам понять прошлые транспортные свойства, такие как отрицательное магнитосопротивление и отсутствие туннельного магнитосопротивления на границе зерен SrRuO_3 , а также предсказать новые эффекты границы зерен SrRuO_3 , такие как межфазное магнитоэлектрическое взаимодействие, когда SrRuO_3 используется в качестве нижнего электрода для роста тонких сегнетоэлектрических пленок. В более широком смысле, контроль структуры дефектов в атомном масштабе может реализовывать специфические физические свойства, позволяя строить новую стратегию разработки устройств с новыми низкоразмерными магнитными свойствами с использованием граничной нанотехнологии", – отмечает профессор Пэн Гао.

По материалам phys.org

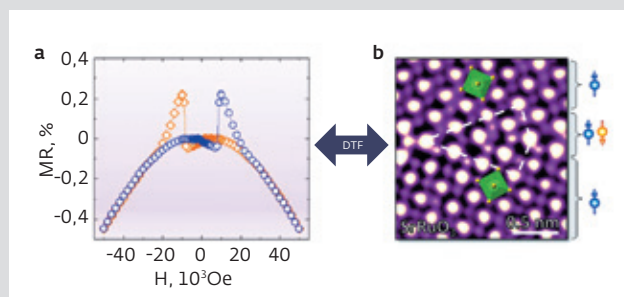


Рис.1. а – транспортные измерения; б – электронно-микроскопическое изображение анионной и катионной конфигурации границ зерен SrRuO_3



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА»
ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



ПОКУПАЙ АМЕРИКАНСКОЕ

Бочкарев О.И., Бошно С.В., Верник П.А.

Под общей ред. О.И. Бочкарева. –
М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 168 с. –
(Серия «Библиотека Института стратегий развития», 05).
ISBN 978-5-94836-568-8

*Издание осуществлено при поддержке
АНО «Институт стратегий развития»*



Цена 636 руб.

Книга посвящена исследованию комплекса нормативных правовых актов «Покупай американское» от исторического закона 1933 года до последних указов Президента США 2019 года. Авторы книги объясняют особенности американского протекционизма, демонстрируют механизмы защиты внутреннего рынка, рассматривают предпосылки таких правовых решений, приводят конкретные факты применения законодательства.

Практический опыт защиты отечественного товара и производителя очень актуален, так как в России сегодня активно формируются правовые положения об отечественном производителе и экономические меры его поддержки. Соответственно, лозунг «Делай/покупай российское» приобретает не только сугубо патриотическое, но и экономическое обоснование в русле современных тенденций мировой экономики.

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ

www.technosphere.ru

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91

По факсу: +7 (495) 956-33-46

E-mail: knigi@technosphere.ru

sales@technosphere.ru