

УДК 681.3

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Мустафаев А. Г.¹, Мустафаев Г. А.², Мустафаев А. Г.²

¹ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет», Махачкала, Россия (367015, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля, 70), e-mail: arslan_mustafaev@mail.ru

²ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет», Нальчик, Россия (360000, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173),

Повышение эффективности производства при обеспечении определенного уровня качества изделий в условиях стабильного технологического процесса рассматривается как важная научно-техническая проблема, решение которой особо важно в производстве интегральных элементов. Производство интегральных элементов представляет собой сложный многофакторный и многостадийный процесс. Основные характеристики интегральных элементов, определяющие область их применения, создаются при формировании структур в обрабатывающей фазе. Современные ионно-фотонные технологические процессы формирования структур элементов обеспечиваются использованием низкотемпературных неравновесных импульсных и радиационно-стимулированных технологических операций. Рассматриваемые в работе технические решения наиболее актуальны для формирования структуры интегральных элементов и позволяют повысить качество и надежность изделий в целом.

Ключевые слова: технологический процесс, автоматизированное управление, формирование структур, интегральная электроника.

AUTOMATED CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF INTEGRATED ELEMENTS FORMATION SYSTEM STRUCTURE

Mustafaev A. G.¹, Mustafaev G. A.², Mustafaev A. G.²

¹Dagestan state technical university

²FSBEO HPE "Kabardino-Balcarian state university"

Increasing production efficiency in providing a certain level of quality products in a stable technological process is seen as an important scientific and technical challenge that is particularly important in the production of integrated elements. Production of integrated elements is a complex multifactorial and multistage process. The main characteristics of integrated elements that define the area of their application, are created during the formation of structures in the manufacturing phase. Modern ion-photon processes of structure formation elements are provided by using low-temperature nonequilibrium impulse and radiation-stimulated production operations. Considered in this paper solutions are most relevant for the formation of the structure of integral elements, and will improve the quality and reliability of products in general.

Keywords: technology process, automated control, structure formation, integrated electronics.

Приборно-технологическое моделирование является одним из ключевых элементов систем автоматизированного проектирования изделий интегральной электроники (ИИЭ). В настоящее время прогресс в области микро- и нанoeлектроники сопровождается усилением роли приборно-технологического моделирования. Применение экспериментальных методов при исследовании полупроводниковых структур с нанометровыми размерами не дает высокой точности результатов, необходимой для надежного прогнозирования приборных характеристик. Нельзя также обойтись только экспериментальными исследованиями при поиске и оптимизации принципиально новых приборных структур и конструктивных решений. Разумной альтернативой в этих случаях является использование численного моделирования.

Повышение эффективности производства при обеспечении высокого качества изделий в условиях стабильного технологического процесса (ТП) является важной научно-технической проблемой, решение которой особо актуально при производстве изделий интегральной электроники (ИИЭ).

Характеристики ИИЭ, определяющие область их применения, создаются при формировании структур на стадии обработки, причем производство ИИЭ является сложным многофакторным и многостадийным процессом [1, 2]. Современные технологические процессы формирования структур элементов, такие как ионная имплантация, некогерентный отжиг, плазмохимическое и ионное травление обеспечиваются использованием низкотемпературных неравновесных импульсных и радиационно-стимулированных технологических операций.

К точности и стабильности ТП и условиям их выполнения предъявляются особо высокие требования, одновременно большое разнообразие применяемых методов и приемов обработки приводит к необходимости решения сложных задач управления ТП. Решение этих задач основано на определении взаимосвязи между свойствами изделий, особенностями технологии их изготовления и характеристиками оборудования, с помощью которого реализуется эта технология.

Улучшение таких параметров как процент выхода годных (ПВГ) и надежность требует целенаправленного автоматизированного управления технологическим процессом для достижения заданного уровня точности и стабильности работы технологических операций (ТО), однородности параметров выпускаемых изделий. Составной частью автоматизированной системы управления являются алгоритмы и программы функционирования, учитывающие особенности протекания исследуемого ТП формирования структур ИЭ на основе математического описания.

Решение различных проблем современного производства ИЭ на основе развития и использования математического моделирования технологических процессов и оптимизации технических решений является актуальным направлением научных исследований [4, 5]. Развитие его позволяет успешно решать задачи обеспечения оптимальных и устойчивых к разбросу параметров ТП и повысить технологичность выпускаемых изделий. Так, моделирование процессов в технологии ИЭ позволяет оптимизировать технологические режимы и достичь требуемых параметров изделий [3]. Кроме того, использование новых моделей и новых технических средств в производстве ИЭ дает возможность эффективно и наиболее оптимальным способом управлять ТП.

Повышение эффективности автоматизированного управления технологическим процессом формирования структур интегральных элементов путем моделирования и

оптимизации технического обеспечения технологического процесса для поддержания и стабильности выходных характеристик приборов обеспечивается постановкой и решением следующих задач:

- исследование процесса групповой обработки формирования структур как объекта управления;
- управление процессами формирования структурных слоев интегральных элементов;
- разработка алгоритма и структуры системы управления технологическим процессом отжига при формировании структур;
- моделирование процесса травления при формировании топологии интегральных элементов;
- реализация алгоритмов управления процессами формирования структур интегральных элементов в промышленных условиях.

Процесс производства ИЭ представляет собой систему, оптимальная организация которой имеет первостепенное значение для ее эффективного функционирования. Наиболее полно особенности структуры ИЭ и главные черты интегральной технологии отражаются обрабатывающей группой процессов, объединяющей все операции, необходимые для формирования структур ИЭ. Важными операциями являются те из них, с помощью которых непосредственно формируется структура ИЭ, то есть ионная имплантация, отжиг, травление.

Все ТП, влияющие на качество ИЭ, должны контролироваться. Однако только использование хорошо организованной системы контроля показателей качества материалов и ИЭ еще не гарантируют обеспечения высокого их качества. Необходимо еще и управлять процессом производства, понижая влияние дестабилизирующих факторов, что можно достичь, располагая исчерпывающими сведениями о состоянии и возможностях производственных процессов.

Решение проблемы управления ТП при производстве ИЭ существенным образом влияет на эффективность ТП. Управление ТП позволяет создать алгоритмы выбора и корректировки режимов технологических операций, направленные на повышение процента выхода и улучшения однородности характеристик ИЭ в партии.

ТП может быть представлен математической моделью, основу которой может составлять описание процесса преобразования облика входных объектов в выходные, под влиянием технологических воздействий с учетом свойств объекта. Входные данные – это описание топологии слоев изготовления ИЭ, режимов их изготовления и критериев управления.

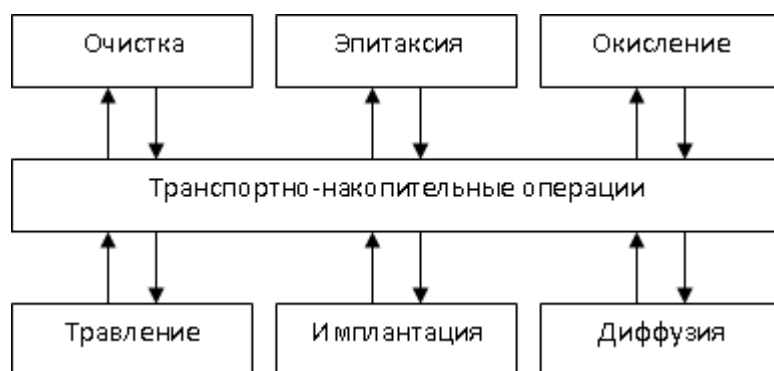


Рис. 1. Схема формирования структурных слоев

Формирование с высокой точностью структурных слоев ИЭ в современных производственных системах достигается применением эффективных алгоритмов управления, при которых оцениваются как отклонения технологических режимов процессов в каждой производственной системе, так и отклонения параметров изделий.

ТП формирования структурных слоев может быть структурно представлен в виде отдельных блоков [3] (рис. 1).

Точность моделирования в значительной степени влияет на эффективность управления ТП. Ошибка управления ТП зависит от погрешности управлений и погрешности моделирования процессов, определяемых характером производства ИЭ.

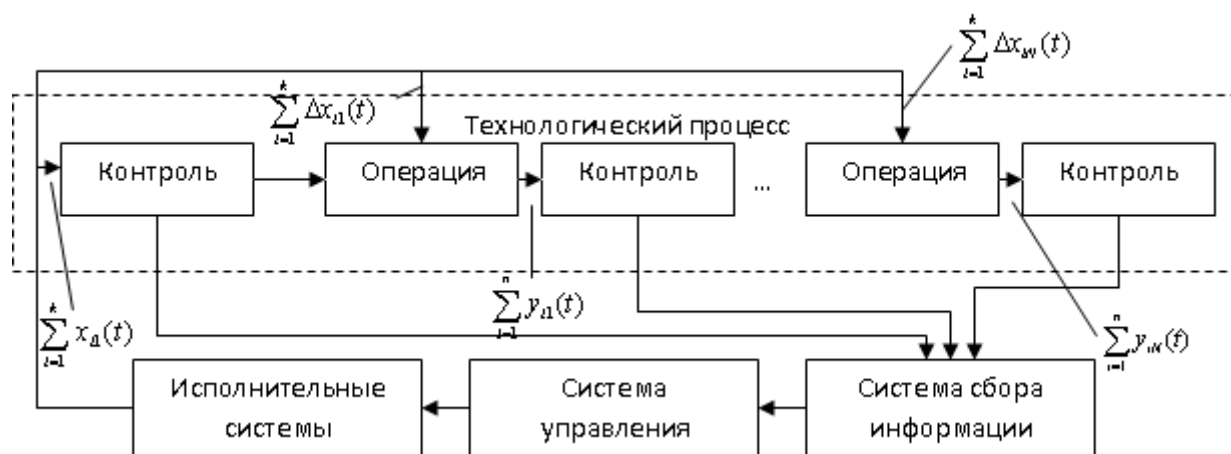


Рис. 2. Схема автоматизированного управления технологическим процессом

Схема автоматизированного управления ТП, обеспечивающая номинальные выходные характеристики ИЭ (рис. 2), включает управляемые и контролируемые входные параметры $\{x_i\}$, $i=1, \dots, k$, выходные параметры структур $\{y_i\}$, $i=1, \dots, n$ и управляющие сигналы $\{\Delta x_i\}$, $i=1, \dots, k$, вырабатываемые системой на основании информации, полученной от контроля при измерении выходных параметров y_i .

Информация о параметрах управляющего процесса представляется в виде:

$$\sum_{i=1}^k x_{i1}(t) \rightarrow \sum_{i=1}^n y_{i1}(t) \rightarrow \dots \rightarrow \sum_{i=1}^n y_{iN}(t),$$

где t – текущее значение параметра.

На основании текущих значений факторов $x_i(t)$ прогнозируется ожидаемое значение выходного параметра $y_i(t)$. Если $y_i(t)$ не соответствует заданному значению, то вырабатывается управляющее воздействие $\Delta x_i(t)$. В зависимости от величины и знака управляющего сигнала осуществляется изменение входных параметров $\sum_{i=1}^k x_{i1}(t)$, таким образом, чтобы совокупность $x_i(t)$ определила $y_i(t)$, близкое к заданному значению y_i .

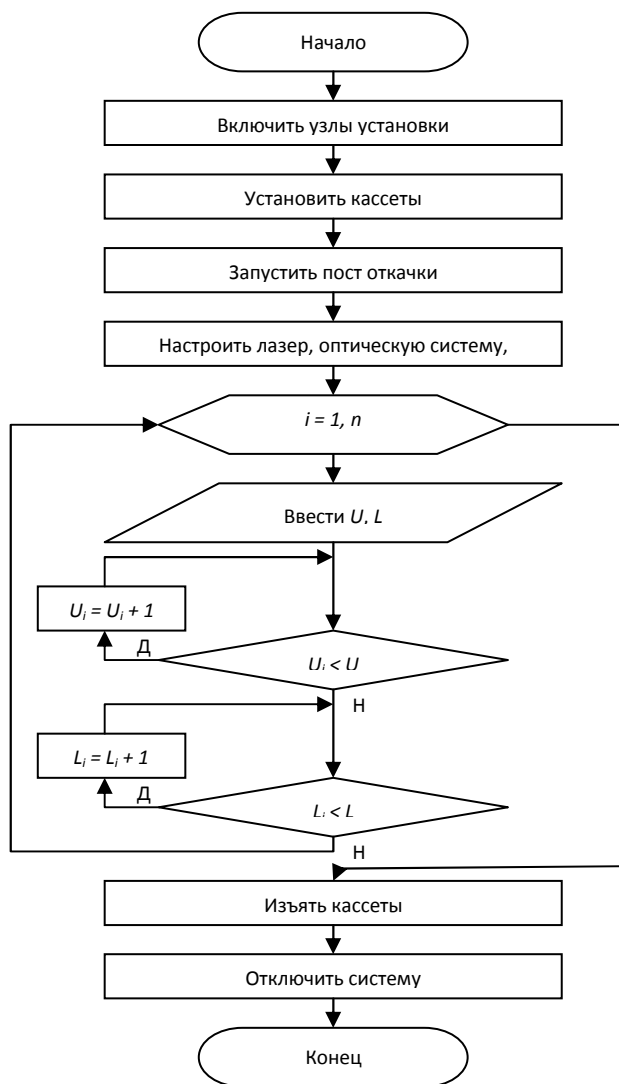


Рис. 3. Блок-схема алгоритма управления процессом импульсной ионной имплантации

Информация о параметрах y_i воспринимается датчиками, преобразующими величины в сигнал необходимого вида. При этом получение, обработка и отображение информации о качестве ТП формирования структур ИЭ и ее реализация обусловлены необходимостью адаптации системы контроля и управления к конкретному ТП, из-за различной структуры и состава информационных потоков, сигналов управления, а также соответствующего математического и аппаратного обеспечений.

В настоящее время имеет место непрерывное расширение сферы применения ионной имплантации (ИИ) и неослабевающий интерес со стороны специалистов в области технологии производства полупроводников и ИЭ. Основным направлением в развитии источников ионов является повышение эффективности управления процессом. Так реализация лазерного источника позволяет получать достаточно интенсивные пучки ионов практически любых твердых веществ. Применение импульсного лазера с модулированной добротностью и оптической системой для фокусировки луча обеспечивает создание универсальной по номенклатуре получаемых ионов установки. Особенностью установки является отсутствие сепарации и сканирования ионного пучка, а также возможность имплантации ионов любых твердых веществ, что значительно снижает материалоемкость и энергоемкость. Блок-схема алгоритмом управления процессом ионной имплантации приведена на рис. 3 [3].

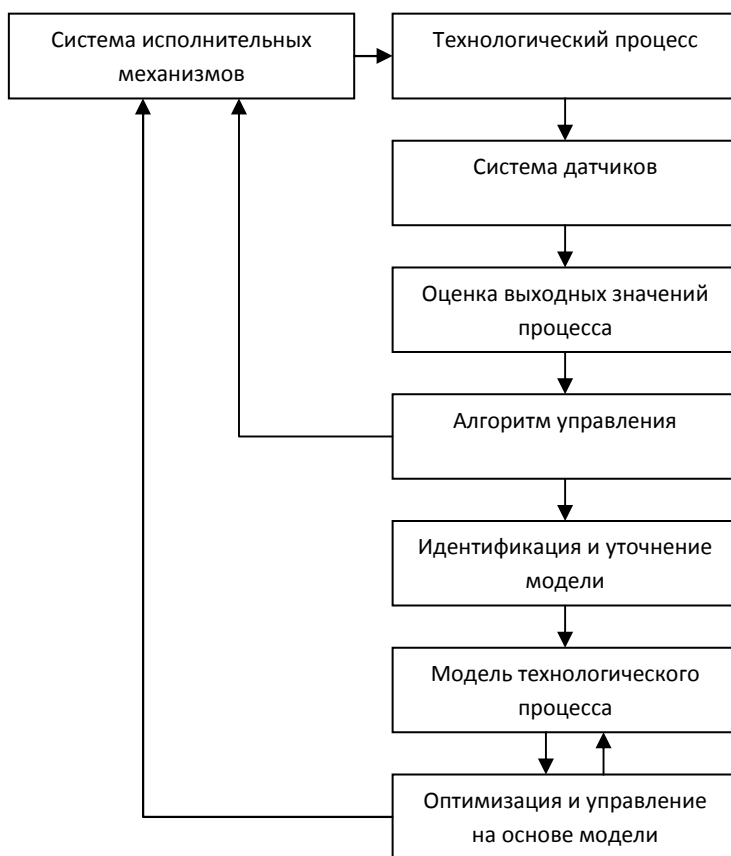


Рис. 4. Схема функционирования автоматизированной системы управления технологическим процессом [3]

Реализация новых принципов формирования ионных пучков и эффективных алгоритмов управления ТП позволяет достичь процент выхода годных ИЭ серии 131 на операции функционирования – 82,0 % при плановом – 58,6 %. Процент выхода по статическим и динамическим параметрам после сборки микросхем составил соответственно 95,6 % и 95 % против плановых 92,5 % и 92,7 %.

Схема функционирования системы управления ТП показана на рис. 4. Предлагаемые подходы управления ТП позволяют исключить субъективный фактор и повысить эффективность систем управления. Проведенные исследования и анализ показали, что основными ТО, существенно влияющими на выходные характеристики ИЭ, при их производстве являются ионная имплантация, отжиг, травление. Исследование и моделирование процессов на этих операциях позволит выработать рекомендации по управлению и разработать алгоритмы эффективного управления ТП формирования структур ИЭ.

Список литературы

1. Бубенников А. Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высшая школа 1989. – 320 с.
2. Крапухин В. В., Соколов И. А., Кузнецов Г. Д. Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 1995. – 495 с.
3. Мустафаев М. Г. Мустафаев Г. А. Управление и регулирование технологической системы производства элементов и компонентов // Приборы. – 2007. – № 11. – С. 44–47.
4. Тарнавский Г. А. [и др.] Современные информационные технологии в наноэлектронике: прямое компьютерное моделирование процессов производственного цикла создания новых полупроводниковых материалов // Инфосфера. – 2007. – № 35. – С.48–50.
5. Kennel H. W. [et al.] Modeling of ultrahighly doped shallow junctions for aggressively scaled CMOS, Electron Devices Meeting, 2002. IEDM '02.Digest. International. – P. 875-878.

Рецензенты:

Рехвиашвили С. Ш., д-р физ.-мат. наук, с.н.с., НИИ прикладной математики и автоматизации КБНЦ РАН, г. Нальчик.

Росс Г. В., д-р техн. наук, профессор, зам. директора ФГУП ВНИИ ПВТИ, г. Москва.