

ТРУДЫ

РОССИЙСКАЯ
АКАДЕМИЯ
НАУК

ФИЗИКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

ISSN 0868-7129

ФТИАН

Том 26

КВАНТОВЫЕ
КОМПЬЮТЕРЫ,
МИКРО-
И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

физика, технология, диагностика
и моделирование

НАУКА

УДК 621.38
ББК 30.13
Т78

Рецензенты:

доктор физико-математических наук *К.В. Руденко*,
доктор технических наук *П.П. Мальцев*

Труды Физико-технологического института / гл. ред. В.Ф. Лукичёв ;
Физико-технологич. ин-т РАН. — М. : Наука, 1991 — . — ISSN 0868-7129.

Т. 26 : Квантовые компьютеры, микро- и нанoeлектроника : физика, технология, диагностика и моделирование / отв. ред. В.Ф. Лукичёв. — 2017. — 136 с. — ISBN 978-5-02-039983-9.

В настоящее время происходит бурное развитие технологий и приложений МНЭМС. Это, несомненно, связано с возможностью использования кремниевых (и не только) технологий микро- и нанoeлектроники, а также всех видов САПР, применяемых в производстве ИС. Представленный сборник освещает лишь небольшую часть спектра возможных устройств, исследуемых в Физико-технологическом институте РАН. Первые две статьи посвящены «нестандартной» возможности использования механических систем в качестве элемента квантового бита. Далее рассматривается технология ключей с малыми управляющими напряжениями, что является актуальной проблемой, а также представлена статья по моделированию ключа с пружинным подвесом. В следующей статье описана технология глубокого анизотропного травления при изготовлении микроакселерометра. В трех последних статьях авторы несколько отступают от традиционного понимания МНЭМС, тем не менее, в них описана технология быстрых нейтральных пучков, которая может быть успешно применена и к производству таких систем.

Для специалистов в области микро- и нанoeлектроники, аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

Proceedings of the Physico-Technological Institute / Editor-in-Chief V.F. Lukichev ;
Physico-Technological Institute of RAS. — Moscow : Nauka, 1991 — . — ISSN 0868-7129.

Vol. 26 : Quantum computers, micro- and nanoelectronics : physics, technology, diagnostics and modeling / Ed. by V.F. Lukichev. — 2017. — 136 p. — ISBN 978-5-02-039983-9.

Currently, there is rapid development of technologies and applications MNEMS. This is clearly linked with the possibility of using silicon (and other) technologies of micro- and nanoelectronics, as well as all types of CAD software used in production of ICs. Present Proceedings are devoted to only small part of the spectrum of possible devices, studied at the Institute of Physics and Technology of Russian Academy of Sciences. The first two articles describe the «unusual» possibility of using mechanical systems as part of a quantum bit. Next, the article considers the technology of mechanical switches with small control voltages, which is an actual problem, as well as the article on modeling switch with spring suspension. The following article describes the technology of deep anisotropic etching in the manufacture of microaccelerometer. The last three articles are a few depart from the traditional understanding of MNEMS, however, have described the technology of fast neutral beams, which can be successfully applied to the production of such systems.

For specialist in the field of micro- and nanoelectronics and graduate and postgraduate students of the appropriate disciplines.

ISBN 978-5-02-039983-9

- © Физико-технологический институт РАН, 2017
- © Российская академия наук и издательство «Наука»,
продолжающееся издание «Труды ФТИАН»
(разработка, оформление), 1991 (год основания), 2017
- © ФГУП Издательство «Наука», редакционно-
издательское оформление, 2017

УДК 621.382

А.В. ЦУКАНОВ, И.Ю. КАТЕЕВ

НАНО- И ОПТОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СТРУКТУРЕ УПРАВЛЕНИЯ СПИНОВЫМИ КУБИТАМИ НА NV-ЦЕНТРАХ В АЛМАЗЕ

Введение

Наноэлектромеханические системы (НЭМС) и оптоэлектромеханические системы (ОЭМС) на основе различных алмазных материалов (трехмерные монокристаллы, моно- и поликристаллические пленки, нанокристаллы) в последние несколько лет привлекают к себе пристальное внимание исследователей. Анализируются принципы функционирования гибридных структур, состоящих из механического резонатора и квантовой системы – NV-центра в алмазе. Как было установлено, механическая степень свободы может быть интегрирована в сам алмаз или принадлежать объекту из иностранного материала, но расположенному вблизи алмазного «контейнера» с NV-центрами. Если подвергнуть такую систему комбинированному электромеханическому воздействию, приводящему к возбуждению колебаний НЭМС/ОЭМС и/или переходов между магнитными подуровнями центров, то спектр испускаемого ею вторичного излучения будет отражать взаимовлияние подсистем, которое зависит от разности их частот и коэффициента связи спина NV-центра с модой резонатора.

Наблюдается заметный рост интереса к использованию когерентного взаимодействия между квантовыми объектами и НЭМС/ОЭМС, заселяемыми определенным (небольшим) количеством колебательных квантов (фононов). Подобно оптическим или микроволновым резонаторам, интегрирование таких НЭМС/ОЭМС в квантовые сети открывает новое направление твердотельной квантовой оптики – фононику. Это дает возможность применять НЭМС/ОЭМС для измерения состояния объекта и манипуляций

СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.В. Цуканов, И.Ю. Катеев.</i> Нано- и оптоэлектромеханические системы в структуре управления спиновыми кубитами на NV-центрах в алмазе	3
<i>А.В. Цуканов.</i> Зарядовые кубиты на полупроводниковых квантовых точках в механических резонаторах: управление фононными процессами	30
<i>И.В. Уваров, В.В. Наумов, О.М. Королева, Е.И. Ваганова, И.И. Амиров.</i> МЭМС-переключатели электростатического типа с низким напряжением срабатывания	55
<i>В.Ф. Лукичев, К.В. Лебедев, В.А. Кальнов.</i> Моделирование характеристик низковольтного МЭМС-переключателя латерального типа с пружинным элементом	75
<i>И.И. Амиров, О.В. Морозов, И.В. Уваров, М.К. Аминов, М.О. Изюмов, В.А. Кальнов.</i> Технология изготовления кремниевого чувствительного элемента микроакселерометра с использованием процессов глубокого анизотропного травления.....	85
<i>В.П. Кудря, Ю.П. Маишев.</i> Физические принципы диагностики пучков быстрых нейтральных частиц. I. Определение состава пучка и энергетических характеристик его компонентов	103
<i>Ю.П. Маишев, С.Л. Шевчук.</i> Установка для обработки материалов пучком быстрых нейтральных частиц.....	117
<i>Ю.П. Маишев, С.Л. Шевчук, В.А. Мальгичев.</i> Формирование и исследование пленок алмазоподобного углерода на рабочие поверхности имплантируемого насоса крови	124

CONTENTS

<i>A.V. Tsukanov, I.Yu. Kateev.</i> Nano- and optoelectromechanical systems in diamond interfaces with NV-center qubits	3
<i>A.V. Tsukanov.</i> Charge qubits on semiconductor quantum dots in nanomechanical resonators: tailoring of phononic processes.....	30
<i>I.V. Uvarov, V.V. Naumov, O.M. Koroleva, E.I. Vaganova, I.I. Amirov.</i> Electrostatically actuated MEMS switches with low driving voltage.....	55
<i>V.F. Lukichev, K.V. Lebedev, V.A. Kalnov.</i> Modelling characteristics of low-voltage lateral MEMS-switch with spring-type element	75
<i>I.I. Amirov, O.V. Morozov, I.V. Uvarov, M.K. Aminov, M.O. Izyumov, V.A. Kalnov.</i> The technology of manufacturing silicon sensing element microaccelerometer using deep anisotropic etching processes	85
<i>V.P. Kudrya, Yu.P. Maishev.</i> Physical fundamentals of fast neutral beams diagnostics. I. Measurement of beam composition and energy characteristics of the beam components.....	103
<i>Yu.P. Maishev, S.L. Shevchuk.</i> Fast atom beam treatment facility.....	117
<i>Yu.P. Maishev, S.L. Shevchuk, V.A. Malgichev.</i> DLC film deposition on the surfaces of the implanted blood pump.....	124

Научное издание

**Квантовые компьютеры,
микро- и нанoeлектроника:
физика, технология, диагностика
и моделирование**

Труды Физико-технологического института
Российской академии наук

Том 26

*Утверждено к печати
Ученым советом
Физико-технологического института
Российской академии наук*

Редактор *Л.С. Аюпова*
Художник *В.Ю. Яковлев*
Корректоры *А.Б. Васильев, Р.В. Молоканова*

Подписано к печати 20.02.2017
Формат 70 × 100 ¹/₁₆. Гарнитура Ньютон
Печать офсетная
Усл.печ.л. 11,1. Усл.кр.-отг. 34,8. Уч.-изд.л. 11,6
Тип. зак.

ФГУП Издательство «Наука»
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90
E-mail: secret@naukaran.com
www.naukaran.com

ФГУП Издательство «Наука» (Типография «Наука»)
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN: 978-5-02-039983-9

