



ISSN 0368-7147

# КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Том 49, № 10 (568), с. 895–988

Октябрь, 2019

Ежемесячный журнал, издание основано Н.Г.Басовым в январе 1971 г.  
Переводится на английский язык и публикуется под названием  
«Quantum Electronics» издательством «Turpion Ltd», Лондон, Англия

**Учредители:** Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Международный учебно-научный лазерный центр МГУ, ФГУП «НПО «Астрофизика», НИИ лазерной физики, Институт лазерной физики СО РАН, ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха», трудовой коллектив редакции журнала

**Главный редактор** О.Н.Крохин, *заместители главного редактора* И.Б.Ковш, А.С.Семёнов

**Редакционный совет:** С.Н.Багаев, С.В.Гапоненко (Беларусь), С.Г.Гаранин, А.З.Грасюк, В.И.Конов, Ю.Н.Кульчин, В.А.Макаров, Г.Т.Микаелян, А.Пискарскас (Литва), В.В.Тучин, А.М.Шалагин, И.А.Щербаков

**Редакционная коллегия:** А.П.Богатов, В.Ю.Венедиктов, С.Г.Гречин, Н.Н.Евтихийев, В.Н.Задков, И.Г.Зубарев, Н.Н.Ильичёв, Н.Н.Колачевский, Ю.В.Курочкин, А.И.Маймистов, А.А.Мармалюк, А.В.Масалов, О.Е.Наний, В.Г.Низьев, Н.А.Пихтин, Ю.М.Попов, А.В.Приезжев, А.Б.Савельев, С.Л.Семёнов, Е.А.Хазанов, Г.А.Шафеев

**Адрес редакции:** Россия, 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский просп., 53, ФИАН  
Тел.: +7(495) 668 88 88, после ответа автоинформатора следует набрать 66 66 или 66 60

**Электронная почта:** ke@lebedev.ru

**Интернет:** <http://www.quantum-electron.ru> (Quantum Electronics – <http://www.turpion.org>)  
Зав.редакцией Е.Ю.Запольская

Дирекция Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, редсовет и редколлегия  
журнала «Квантовая электроника» с глубоким прискорбием  
извещают о кончине 03.09.2019 г. на 65-м году жизни после тяжелой болезни  
талантливого ученого и организатора науки, директора Самарского филиала ФИАН  
известного специалиста в области молекулярных лазеров и взаимодействия лазерного  
излучения с веществом в технологических режимах  
кандидата физико-математических наук

**Владимира Станиславовича Казакевича**

и выражают искренние соболезнования семье, друзьям и коллегам покойного.

Приглашенная статья

**Крюков П.Г.** Лазерные гребенки оптических частот и их применения в системах волоконно-оптической связи и в астрофизике . . . . . 895

Лазеры

**Алексеев С.В., Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Месяц Г.А., Михеев Л.Д., Ратахин Н.А., Панченко Ю.Н.** Достижение пиковой мощности излучения 40 ТВт лазерной гибридной фемтосекундной системы видимого диапазона . . . 901

**Ладугин М.А., Гулькиков Н.В., Мармалюк А.А., Коняев В.П., Соловьева А.В.** Непрерывные лазерные диоды на основе эпитаксиально-интегрированных гетероструктур InGaAs/AlGaAs/GaAs . . . . . 905

**Андреев А.Ю., Багаев Т.А., Бутаев М.Р., Гамов Н.А., Жданова Е.В., Зверев М.М., Козловский В.И., Скасырский Я.К., Яроцкая И.В.** Исследование поверхностно-излучающего полупроводникового лазера с внешним зеркалом на структуре InGaAs/AlGaAs при накачке электронным пучком. . . . . 909

**Ушаков Д.В., Афоненко А.А., Дубинов А.А., Гавриленко В.И., Волков О.Ю., Щаврук Н.В., Пономарев Д.С., Хабибуллин Р.А.** Моделирование квантово-каскадных лазеров терагерцевого диапазона частот методом балансных уравнений на основе базиса волновых функций с уменьшенными дипольными моментами туннельно-связанных состояний . . . . . 913

**Алешкина С.С., Липатов Д.С., Кочергина Т.А., Вельмискин В.В., Темялко В.Л., Котов Л.В., Бардина Т.Л., Бубнов М.М., Гурьянов А.Н., Лихачев М.Е.** Полностью волоконный одномодовый усилитель слабого сигнала для спектрального диапазона около 0.976 мкм . . . . . 919

**Щукарев И.А., Коробко Д.А., Салганский М.Ю., Золотовский И.О.** Генерация параболических лазерных импульсов в коротких волоконных усилителях. . . . . 925

**Андреева Е.В., Ильченко С.Н., Ладугин М.А., Мармалюк А.А., Панкратов К.М., Шидловский В.Р., Якубович С.Д.** Суперлюминесцентные диоды на основе двухслойных асимметричных наногетероструктур . . . . . 931

Воздействие лазерного излучения на вещество. Лазерная плазма

**Ширяев О.Б.** Асимптотическая теория пондеромоторной динамики электрона в поле сфокусированного релятивистски интенсивного электромагнитного волнового пакета . . . . . 936

**Зятиков И.А., Иванов Н.Г., Лосев В.Ф., Прокопьев В.Е.** Исследование спектрально-временных параметров сверхизлучения на ионах молекулярного азота в воздушном филаменте . . . . . 947

Нелинейно-оптические явления

**Зейнали М., Джалех Б., Рашидян Вазири М.Р., Омидвар А.** Исследование нелинейно-оптических свойств нанокompозитных пленок TiO<sub>2</sub> – полистирол . . . . . 951

**Архипов Р.М., Архипов М.В., Пахомов А.В., Розанов Н.Н.** Решетки населенностей, создаваемые в квантовой системе с помощью пары субцикловых импульсов. . . . . 958

Управление параметрами лазерного излучения

**Державин С.И., Лындин Н.М., Тимошкин В.Н.** Фазировка диодной линейки с использованием фазового дифракционного зеркала . . . . . 963

Обработка изображений

**Балакин Д.А., Белинский А.В.** О возможности существенного повышения качества квантового фантомного изображения за счет регистрации дополнительного изображения в объектном канале . . . . . 967

Квантовая криптография

**Аванесов А.С., Кронберг Д.А.** О квантовой криптографии на когерентных состояниях с использованием псевдослучайных генераторов . . . . . 974

Лазерная медицина

**Белов С.В., Данилейко Ю.К., Егоров А.Б., Шилин Л.Г., Шулутко А.М.** Воздействие излучения YAG: Nd-лазера ( $\lambda = 1.44$  мкм) на ткани миокарда при лечении ишемической болезни сердца методом трансмиокардиальной лазерной реваскуляризации . . . . . 982

Некролог

Памяти Владислава Борисовича Розанова . . . . . 988

Новые приборы

**Standa:** Моторизованный линейный транслятор . . . . . 4-я стр. обл.

**Уважаемые подписчики журнала «Квантовая электроника»!**

Вы можете подписаться на наш журнал в агентствах  
«Урал-Пресс» (<http://www.ural-press.ru>, тел. +7 (499) 700-05-07) и  
«Книга-Сервис» (<http://www.akc.ru>, тел. +7 (495) 680-90-88, +7 (495) 680-89-87).

**QUANTUM ELECTRONICS**, vol. 49, No 10 (568), pp 895 – 988 (2019)

*contents*

Invited paper

**Kryukov P.G.** Laser optical frequency combs and their applications in fibre-optic communication systems in astrophysics . . . 895

Lasers

**Alekseev S.V., Ivanov N.G., Losev V.F., Mesyats G.A., Mikheev L.D., Ratakhin N.A., Panchenko Yu.N.** Attainment of a 40 TW peak output power from a visible-range hybrid femtosecond laser system . . . . . 901

**Ladugin M.A., Gul'tikov N.V., Marmalyuk A.A., Konyaev V.P., Solov'eva A.V.** Continuous-wave laser diodes based on epitaxially integrated InGaAs/AlGaAs/GaAs heterostructures. . . . . 905

**Andreev A.Yu., Bagaev T.A., Butaev M.R., Gamov N.A., Zhdanova E.V., Zverev M.M., Kozlovskii V.I., Skasyrskii Ya.K., Yarotskaya I.V.** Investigation of a electron-beam-pumped surface-emitting semiconductor laser with an external mirror on an InGaAs/AlGaAs structure . . . . . 909

**Ushakov D.V., Afonenko A.A., Dubinov A.A., Gavrilenko V.I., Volkov O.Yu., Shchavruk N.V., Ponomarev D.S., Khabibullin R.A.** Simulation of quantum-cascade terahertz lasers by the method of balance equations using the basis of wave functions with reduced dipole moments of tunnel-coupled states . . . . . 913

**Aleshkina S.S., Lipatov D.S., Kochergina T.A., Vel'miskin V.V., Temyanko V.L., Kotov L.V., Bardina T.L., Bubnov M.M., Gur'yanov A.N., Likhachev M.E.** All-fibre single-mode small-signal amplifier for a spectral range of about 0.976  $\mu\text{m}$ . . . . . 919

**Shchukarev I.A., Korobko D.A., Salganskii M.Yu., Zolotovskii I.O.** Generation of parabolic laser pulses in short fibre amplifiers . . . . . 925

**Andreeva E.V., Il'chenko S.N., Ladugin M.A., Marmalyuk A.A., Pankratov K.M., Shidlovskii V.R., Yakubovich S.D.** Superluminescent diodes based on two-layer asymmetric nanoheterostructures . . . . . 931

Interaction of laser radiation on matter. Laser plasma

**Shiryaev O.B.** Asymptotic theory of ponderomotive dynamics of an electron in the field of a focused relativistically intense electromagnetic wave packet . . . . . 936

**Zyatikov I.A., Ivanov N.G., Losev V.F., Prokop'ev V.E.** Investigation of spectral/temporal parameters of superradiance on molecular nitrogen ions in an air filament. . . . . 947

Nonlinear optical phenomena

**Zeinali M., Jaleh B., Rashidian Vaziri M.R., Omidvar A.** Investigation of nonlinear optical properties of TiO<sub>2</sub> – polystyrene nanocomposite films . . . . . 951

**Arkhipov R.M., Arkhipov M.V., Pakhomov A.V., Rozanov N.N.** Population gratings produced in a quantum system using a pair of subcycle pulses . . . . . 958

Control of laser radiation

**Derzhavin S.I., Lyndin N.M., Timoshkin V.N.** Phasing a diode array using a phase diffraction mirror . . . . . 963

Image processing

**Balakin D.A., Belinskii A.V.** On the possibility of significantly improving the quality of a quantum phantom image by registering an additional image in the object channel . . . . . 967

Quantum cryptography

**Avanesov A.S., Kronberg D.A.** Coherent-state quantum cryptography using pseudorandom generators . . . . . 974

Laser medicine

**Belov S.V., Danileiko Yu.K., Egorov A.B., Shilin L.G., Shulutko A.M.** Effect of Nd:YAG laser radiation ( $\lambda = 1.44 \mu\text{m}$ ) on myocardial tissue in the treatment of coronary heart disease by transmyocardial laser revascularisation . . . . . 982

Obituary

In memory of Vladislav Borisovich Rozanov . . . . . 988

New instruments

**Standa:** Motorized planar XY linear stage . . . . . 4th cover page

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, т. 49, № 10, 2019

Научные редакторы А.И.Маслов, А.Б.Савельев, А.С.Семёнов

Редакторы М.Л.Гартаницкая, Т.А.Рештакова, Н.И.Назарова, Л.В.Стратонникова

Редакторы–операторы ЭВМ Т.С.Волохова, А.И.Корнилова, И.В.Безлапотнов

Секретарь редакции Е.В.Коновалова

Формат 60 × 88/8. Усл.-печ. л. 11.76. Уч.-изд. л. 13.13. Цена 1200 руб.

Издательский № 1163

Набрано и сверстано с использованием программного пакета Adobe Creative Suite

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами в ООО «Амирит», 410004 Саратов, ул. Чернышевского, 88;

тел. +7 (800) 700-86-33, +7 (845-2) 24-86-33; e-mail: zakaz@amirit.ru; веб-сайт: amirit.ru