

Владимир Дьяконов, д. т. н., профессор | vpsyak@yandex.ru

Продукция фирмы Keithley

для тестирования изделий оптоэлектроники

В настоящее время выпускается множество типов излучающих диодов, фотоприемников, оптронах и других изделий оптоэлектроники. В ходе их разработки и производства необходимо тестирование этих устройств с учетом специфики их работы и применения. В статье описаны приборы и системы фирмы Keithley для исследования характеристик массовых излучателей света и фотоприемников.

Типы полупроводниковых оптико-электронных приборов

Оптико-электронные приборы, работа которых основана на использовании электронных и оптических явлений, в наши дни находят широчайшее применение и выпускаются в промышленном масштабе [1–8]. Достаточно отметить светодиоды высокой яркости, которые ныне пришли на смену малоэкономичным электрическим лампам накаливания, индикаторные светодиоды, применяемые практически в любом приборе, индикаторные панели, фотодиоды, используемые для контроля освещения и приема оптических сигналов, всевозможные преобразователи изображения в элек-

трический сигнал, применяемые в цифровых фотоаппаратах и видеокамерах полупроводниковые лазеры различного типа, оптоволоконные линии связи и т. д.

Проводятся интенсивные научные исследования, направленные на повышение КПД излучающих свет приборов, повышение чувствительности фотоприемников, увеличение разрешающей способности оптических преобразователей, уменьшение длительности световых импульсов от лазерных источников света и т. д. Рынок в этих исследованиях ожидается благодаря достижениям нанотехнологий [2]. На всех этапах создания и применения оптоэлектронных приборов возникает задача их изучения, тестирования и контроля с высокой скоростью и точностью.

Полупроводниковые светодиоды

Светодиоды строятся на основе *p-n*-переходов с излучательной рекомбинацией, происходящей при пропускании через переход прямого тока с умеренной плотностью. От обычных диодов светодиоды отличаются конструкцией (рис. 1) и тонкими деталями структуры диода [3]. Их корпус имеет прозрачное окошко (линзу),

пропускающее излучение из перехода наружу.

Угловое распределение силы света характеризует силу света в зависимости от угла отклонения от центральной оси светодиода. У светодиодов сейчас легко достижимы углы излучения до 2 градусов по уровню 0,5lv. При использовании светодиодов в роли индикаторов и приборов для освещения большие углы излучения являются достоинством. Линза обеспечивает повышение силы света, но сужает его угловое распределение (рис. 2).

Спектральный состав света, излучаемого светодиодами, определяется в основном типом полупроводникового материала. В настоящее время разработана технология производства светодиодов практически любого цвета — от фиолетового до красного и инфракрасного. Многие светодиоды излучают белый свет.

Для применения в линиях связи необходимо получение модулированного по интенсивности света. В светодиодах модуляция осуществляется предельно просто — изменением величины прямого тока. В светодиодах скорость модуляции излучаемого света связана с постоянной времени излучательной рекомбинации τ , которая зависит от концентрации дырок в активном слое излучающего перехода. Частота модуляции $f = 0,5/\tau$ (рис. 3).

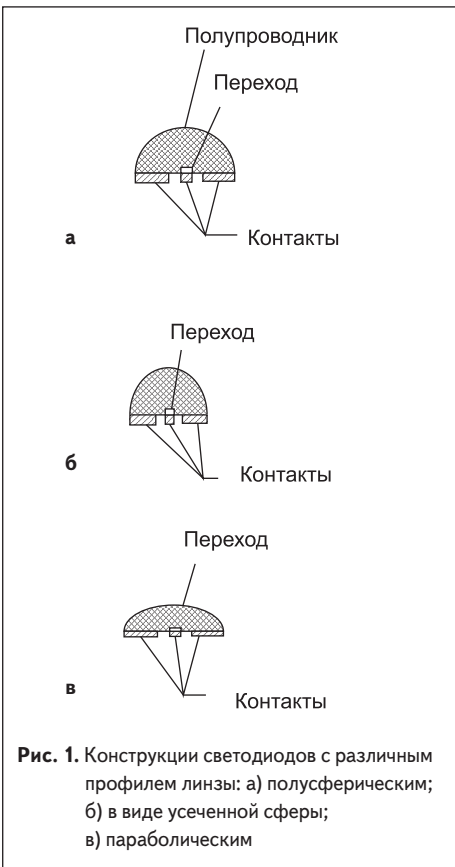


Рис. 1. Конструкции светодиодов с различным профилем линзы: а) полусферическим; б) в виде усеченной сферы; в) параболическим

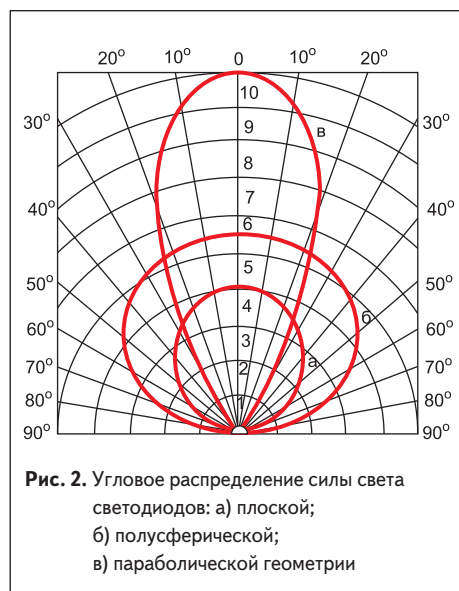


Рис. 2. Угловое распределение силы света светодиодов: а) плоской; б) полусферической; в) параболической геометрии

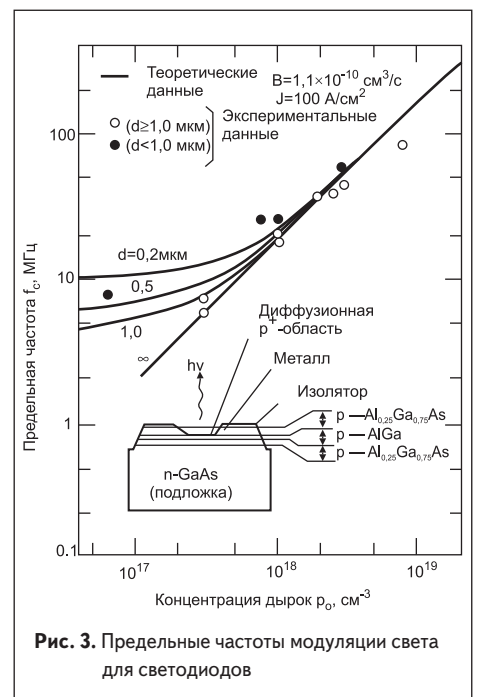


Рис. 3. Предельные частоты модуляции света для светодиодов

Как видно из рис. 3, частота модуляции света светодиодов может достигать десятков мегагерц, что позволяет использовать светодиоды в световолоконных линиях связи с умеренно высокой пропускной способностью. Светодиоды являются одной из частей оптической пары светодиод-фотоприемник, которая называется оптроном и часто используется для гальванической развязки цепей.

Конструкция и характеристики лазерных светодиодов

Лазерные светодиоды [4] отличаются от обычных лишь размещением активной области (излучающего *p-n*-перехода) внутри резонатора, отражающего свет внутрь активной области и частично выпускающего его наружу. Это достигнуто полировкой торцов структуры диода. В результате резко увеличивается длина перемещения частиц света (фотонов) в активной области в ходе их многократных отражений перед выходом, и создаются условия для стимулированного излучения света при накачке диода постоянным током. Для вывода света наружу одна из плоскостей резонатора делается полупрозрачной (рис. 4). Боковые торцы не отполированы и не плоскопараллельны. Это резко уменьшает излучение света через них.

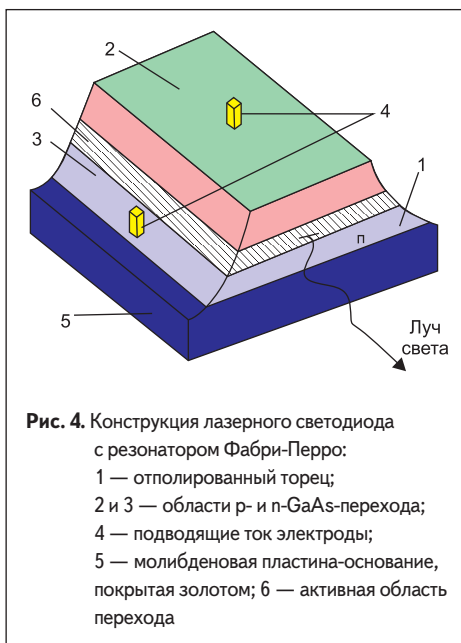


Рис. 4. Конструкция лазерного светодиода с резонатором Фабри-Перро: 1 — отполированный торец; 2 и 3 — области *p*- и *n*-GaAs-перехода; 4 — подводящие ток электроды; 5 — молибденовая пластина-основание, покрытая золотом; 6 — активная область перехода

При малых токах накачки полупроводниковый лазер ведет себя как обычный светодиод: он испускает некогерентное излучение в довольно широком диапазоне длин волн. В лазерах на основе гомоструктур (переход из полупроводника одного типа материала) пороговый ток, при котором начинается лазерный эффект, получается большой и резко возрастает с ростом температуры *p-n*-перехода. На основе работ лауреата Нобелевской премии Ж. Алферова были предложены лазеры с гетероструктурой (слои полупроводников с разным типом материала), у которых этот недостаток резко снижен. Это позволило, в частности, создать лазерные диоды непрерывного излучения. До этого полупроводни-

ковые лазеры могли работать только в импульсном режиме.

ВАХ лазерного светодиода имеет типичный для полупроводникового диода вид. Однако в момент начала генерации часто можно наблюдать небольшой изгиб ВАХ, который нередко служит мерой определения порогового тока. Дифференцируя ВАХ, можно этот изгиб выделить более точно. Однако в целом тестирование ВАХ лазерных диодов подобно тестированию ВАХ обычных диодов.

Зависимость мощности излучения от тока накачки лазерного диода показана на рис. 5. В целом, эта зависимость нелинейная, особенно в начальной стадии. Но в области больших токов имеется большой линейный участок, позволяющий осуществлять линейную амплитудную модуляцию. С ростом температуры мощность излучения падает, а пороговый ток растет.

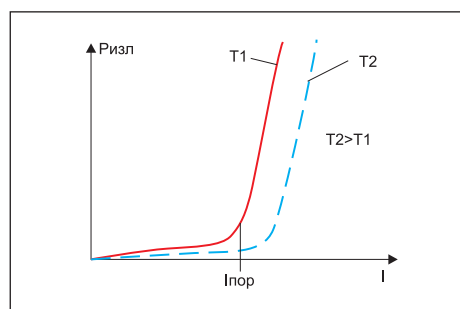


Рис. 5. Зависимость мощности излучения от тока накачки для лазера с двойной гетероструктурой

Лазеры с двойной гетероструктурой позволяют осуществлять амплитудную модуляцию светового излучения с частотами в единицы и даже в десятки гигагерц. Зависимости частоты модуляции от мощности излучения для лазера с двойной гетероструктурой можно найти в [3], а параметры многих типов серийных лазерных диодов — в [4]. Такие лазеры нашли массовое применение для построения световолоконных линий связи, оптических рефлектометров, устройств записи/считывания цифровой информации на основе оптических CD и DVD и др. [5-8].

Конструкция и характеристики фотоприемников

Полупроводниковые материалы могут использоваться для построения различных фотоприемников — приборов, преобразующих силу падающего на их активную площадку

света в изменение сопротивления или в напряжение или ток (табл. 1).

Простейшим типом фотоприемника является фоторезистор. Это один из наиболее чувствительных фотоприемников — он может иметь очень высокое внутреннее умножение фототока или малую инерционность. К сожалению, улучшение одного из этих параметров ухудшает другой. Требования к конструкции фоторезистора довольно противоречивы.

Большее распространение получили фотодиоды — фотоприемники на основе *p-n*- или *p-i-n*-перехода (рис. 6). Структура их подобна структуре обычного диода, но приборы снабжены линзой или просто прозрачным окном, через которые свет попадает в активную область *p-n*-перехода. Для получения высокой чувствительности базовая область фотодиода нередко выполняется с большой площадью. Но это увеличивает обратный ток фотодиода и их собственную емкость. Последнее снижает быстродействие фотодиода.

Стоит особо отметить лавинные фотодиоды, использующие эффект лавинного умножения носителей в обратно смещенном переходе для усиления фототока. К сожалению, с ростом коэффициента умножения *M* растет не только усиление, но и уровень шумов и нестабильность фототока при изменении питающего напряжения. Лавинные фотодиоды имеют наибольшее соотношение сигнал/время нарастания фотодиода, но критичны к напряжению питания. Для устранения данного недостатка применяются двойные лавинные фотодиоды — второй диод используется как компенсирующий в мостовой схеме. Наибольшим быстродействием отличается фотодиод с барьером Шоттки. Однако эти фотодиоды не имеют механизма усиления тока, присущего лавинным фотодиодам, поэтому их чувствительность невысока.

Высокую чувствительность имеют фототранзисторы — биполярные и полевые. Однако они не относятся к высокочастотным приборам. Есть ряд приборов с оптически управляемой *S*-образной ВАХ: фототиристоры, лавинные фототранзисторы и *S*-диоды с оптическим управлением. Широкого распространения эти приборы пока не получили.

Интегрирующие сферы

Американская фирма Keithley выпускает ряд устройств для тестирования фотоприборов. Прежде всего, это «интегрирующая сфера» (Integrating Sphere) — модель 2500INT. Внешне «сфера» представляет собой куб на подставке

Таблица 1. Ориентировочные данные по ряду фотоприемников

Тип фотодетектора	Усиление фототока	Время фотоответа, с	Рабочая температура, °K
Фоторезистор	1–1×10 ⁸	10 ⁻³ –10 ⁻⁸	4,2–300
Фотодиод	1	10 ⁻¹¹	400 (макс)
<i>p-i-n</i> фотодиод	1	10 ⁻⁸ –10 ⁻⁹	
Фотодиод с барьером Шоттки	1	10 ⁻¹¹	
Лавинный фотодиод	10 ² –10 ⁴	10 ⁻¹⁰	
Фототранзистор биполярный	100	10 ⁻⁸	
Фототранзистор полевой	100	10 ⁻⁷	
Лавинный фототранзистор	10 ⁴ –10 ⁵	10 ⁻⁹ –10 ⁻⁸	

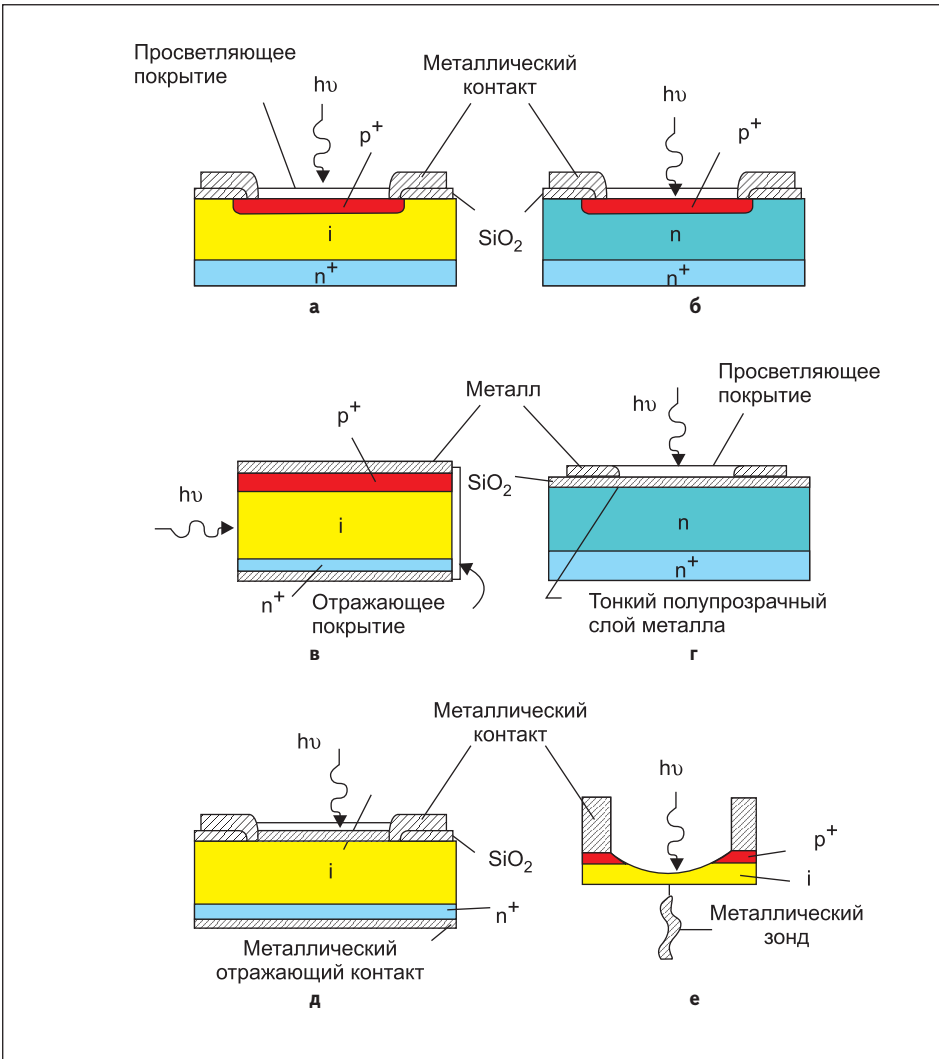


Рис. 7. Интегрирующая сфера 2500INT фирмы Keithley



Рис. 8. Интегрирующая сфера 2520INT (на переднем плане)

(рис. 7). Она является комбинацией черного изнутри ящика со средствами контроля температуры, подачи электропитания и съема контрольного сигнала. При испытании фотодиодов излучение на их активную площадку подается с помощью световолоконного кабеля.

- Есть три варианта интегрирующей сферы:
- 2500-NT2-Ge — для тестирования германиевых фотодиодов;
 - 2500-NT2-Si — для тестирования кремниевых фотодиодов;

- 2500-NT2-GAC — для тестирования индий-арсенид-галлиевых фотодиодов.
- Интегрирующая сфера серии 2500 (табл. 2) предназначена для тестирования и измерения параметров модулей лазерных диодов, лазерных излучающих решеток, светоизлучающих диодов (LEDs) и пассивных оптоэлектронных компонентов. Вариант 2500-NT2-GAC имеет внутренний нагреватель и может использоваться для построения измерительных систем с температурной стабилизацией фотоприемника.

Таблица 2. Основные технические характеристики интегрирующих сфер фирмы Keithley серии 2500

Тип камеры	2500-NT2-Ge	2500-NT2-Si	2500-NT2-GAC
Спектр, нм	190–1100	800–1800	900–1670
Пик спектра, нм	960	1550	1550
Рабочая температура, °С	-20...+60	-55...+60	-40...+70
Температура хранения, °С	-55...+80	-55...+80	-55...+85
Активная площадь, мм	2,4×2,4	5 (диаметр)	5 (диаметр)
Измерение температуры, °С	—	—	-10
Термистор	—	—	0,2 мВт
Нагреватель	—	—	1,5 А
Максимальный ток	—	—	1 А

Для тестирования лазерных излучателей, работающих в импульсном режиме, Keithley выпускает интегрирующую сферу 2520INT (рис. 8).

Интегрирующая сфера 2520INT характеризуется следующими качествами:

- она оптимизирована под тестирование лазерных излучателей импульсными токами;
- оптимальна для тестирования в промышленных и лабораторных условиях;
- имеет встроенный германиевый фотодетектор с широким спектром регистрируемого излучения (рис. 9);
- входит в состав системы 2520 тестирования лазерных излучателей.

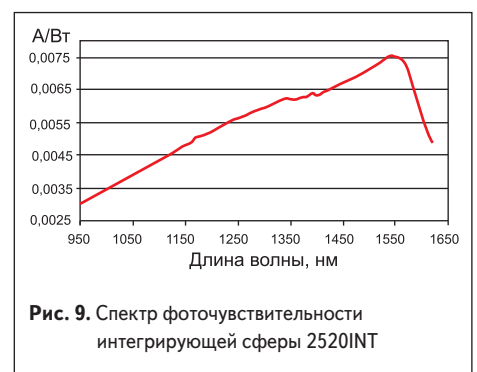


Таблица 3. Основные характеристики интегрирующей сферы 2520INT

Длина волны, нм	Мощность излучения, мВт–Вт	Чувствительность, мА/Вт	Разрешение, мВт
980	29–7	3,5	0,2
1310	17–4	5	0,1
1480	14,5–5,5	6	0,1
1550	15,5–5	7,6	0,1

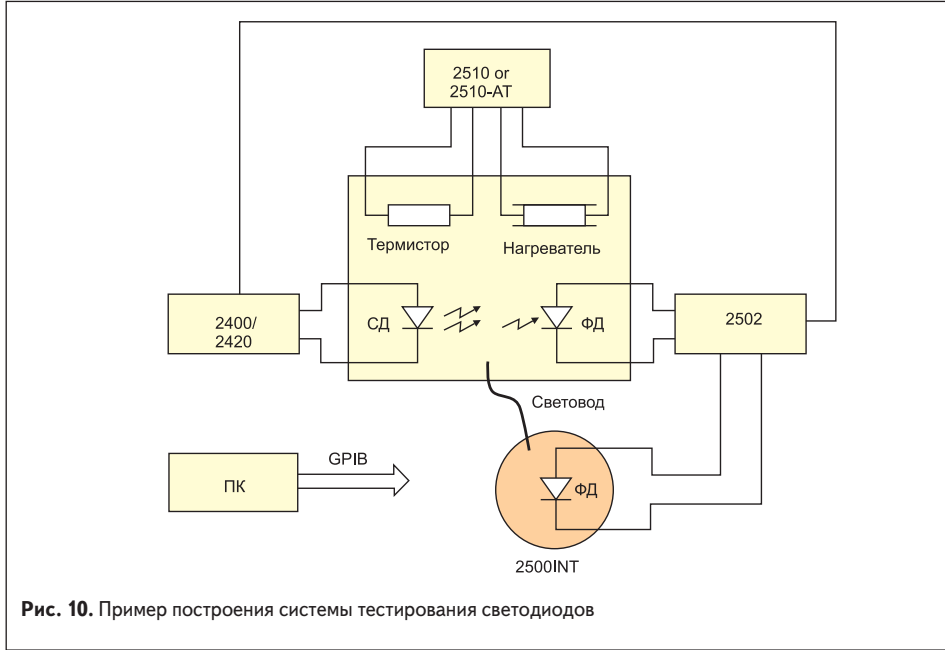


Рис. 10. Пример построения системы тестирования светодиодов

Интегрирующая сфера 2520INT может использоваться для измерения мощности лазерного излучения (табл. 3).

Система ТЕС 2510 для исследования излучателей света

Функциональная схема для исследования и тестирования излучателей света на основе приборов фирмы Keithley показана на рис. 10. Она учитывает специфику предназначения излучателей света — собственно излучение света и необходимость контроля его параметров.

Тестирование мощных светодиодов и лазерных полупроводниковых излучателей требует применения средств термоэлектрического охлаждения (Thermo Electric Cooler, ТЕС), совмещенных с источниками электропитания излучателей. Для этого фирма Keithley выпускает две модели ТЕС-измерителей/источников: 2510 и 2510-АТ. Приборы имеют стандартное оформление и отличаются только возможностью автозапуска, присутствующей у модели 2510-АТ. Оба биполярных прибора имеют мощность 50 Вт. Спецификой измерений излучателей света является их разогрев под действием потребляемой мощности питания (рис. 11). Это ведет к возникновению значительных погрешностей при измерениях.

В приборах ТЕС 2510 предусмотрен контроль температуры с помощью встроенных терморегуляторов — обычного и с пропорционально-

интегро-дифференцирующим терморегулятором (PID). Реальные аperiodические переходные процессы изменения температуры занимают около 5 с (рис. 12а). Это довольно большое время, и оно существенно ограничивает скорость тестирования лазерных излучателей. Переходной процесс с PID-регулятором занимает в несколько раз меньшее время, но он имеет заметные колебания (рис. 12б).

Приборы ТЕС 2510 характеризуются широким температурным диапазоном $-50...+255\text{ }^{\circ}\text{C}$ с разрешением установки температуры $\pm 0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ее нестабильностью до $\pm 0,005\text{ }^{\circ}\text{C}$. Возможно применение различных температурных сенсоров (на основе термистора, термопары, интегрального датчика и т. д.). Приборы обеспечивают высокоточное измерение тока, напряжения, сопротивления и температуры. Возможно применение 4-проводной измерительной схемы Кельвина. Для связи с ПК есть интерфейсы IEEE-48 и RS-232.

Источники/измерители серии 2400 для IV-тестирования оптоэлектронных приборов

Источники/измерители серии 2400 — это набор настольных приборов для всестороннего общего тестирования маломощных и мощных светодиодов, лазерных диодов, светоизлучающих модулей большой мощности (с токами до 5 А), оптронов различного типа и др. Скорость проведения вычислений составляет до 1000 изм/с при разрядности инди-

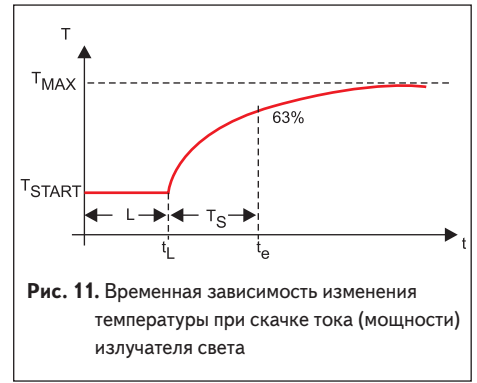


Рис. 11. Временная зависимость изменения температуры при скачке тока (мощности) излучателя света

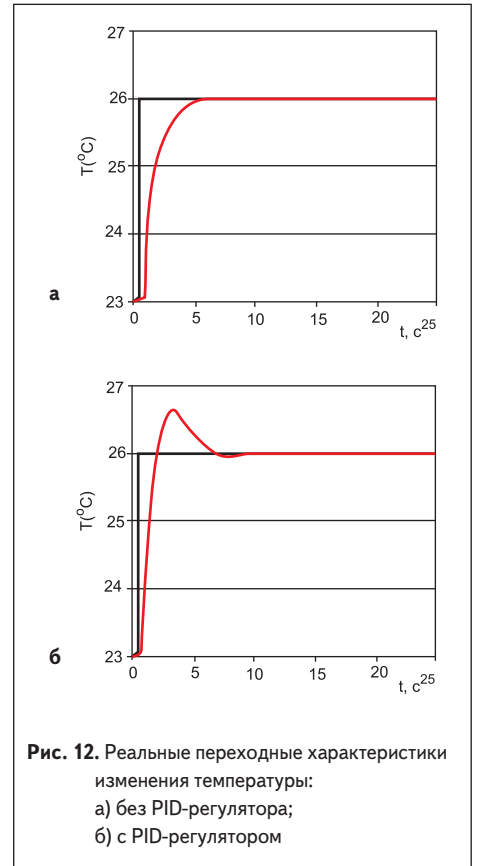


Рис. 12. Реальные переходные характеристики изменения температуры: а) без PID-регулятора; б) с PID-регулятором

каторов 4 1/2. Это позволяет проводить быстрое снятие ВАХ оптоэлектронных приборов как на постоянном токе, так и импульсным методом. Серия содержит следующие приборы:

- 2400-LV — низковольтный источник/измеритель с пределами измерения напряжения до 200 В и тока до 1 А со встроенным источником питания мощностью 20 Вт;
- 2400-C — источник/измеритель общего назначения с проверкой оптических контактов, пределами измерения напряжения до 200 В и тока до 1 А со встроенным источником питания мощностью 20 Вт;
- 2420-C — источник/измеритель высокоточный с проверкой оптических контактов, пределами измерения напряжения до 60 В и тока до 3 А со встроенным источником питания мощностью 60 Вт;
- 2440 — источник/измеритель высокоточный с пределами измерения напряжения до 40 В и тока до 5 А со встроенным источником питания мощностью 50 Вт;

- 2440-C — источник/измеритель сильноточный с проверкой оптических контактов, пределами измерения напряжения до 40 В и тока до 5 А со встроенным источником питания мощностью 50 Вт.

Приборы имеют однотипное конструктивное оформление (рис. 13), обеспечивающее возможность монтажа множества приборов в стандартные стойки фирмы Keithley. Они охватывают диапазон токов и напряжений, характерных для питания большинства оптоэлектронных приборов различного назначения. Установка напряжений начинается с минимального уровня в 1 мкВ, а токов — с уровня 50 пА для приборов 2400 и 500 пА для других. Измерение сопротивления возможно в диапазоне от менее 0,2 Ом до более 200 Ом для прибора 2400, от 0,2 Ом до 200 МОм для моделей 2200 и от 2 Ом до 300 МОм для моделей 2440.



Рис. 13. Внешний вид источников/измерителей серии 2400

Источник/измеритель 2400-LV имеет пределы измерения тока 1 мкА–1 А (кратность 10) с программным разрешением 50 пА–50 мкА с погрешностью от 0,055%+600 пА до 0,027%+900 мкА. Пределы измерения напряжения 200 мВ, 2 и 20 В с погрешностью 0,01%+300 мкВ, 0,012%+300 мкВ и 0,015%+1,5 мВ. Входное сопротивление вольтметра более 10 ГОм. Источник/измеритель 2420 имеет дополнительный предел измерения тока до 3 А и дополнительный предел измерения напряжения до 60 В, а источник/измеритель 2440 — дополнительный предел измерения тока до 5 А и дополнительный предел измерения напряжения до 40 В.

Система тестирования импульсных лазерных излучателей

Для исследования и тестирования лазерных диодов импульсным методом по параметрам LIV (light-current-voltage, «яркость-ток-



Рис. 14. Система LIV-тестирования лазерных диодов 2520

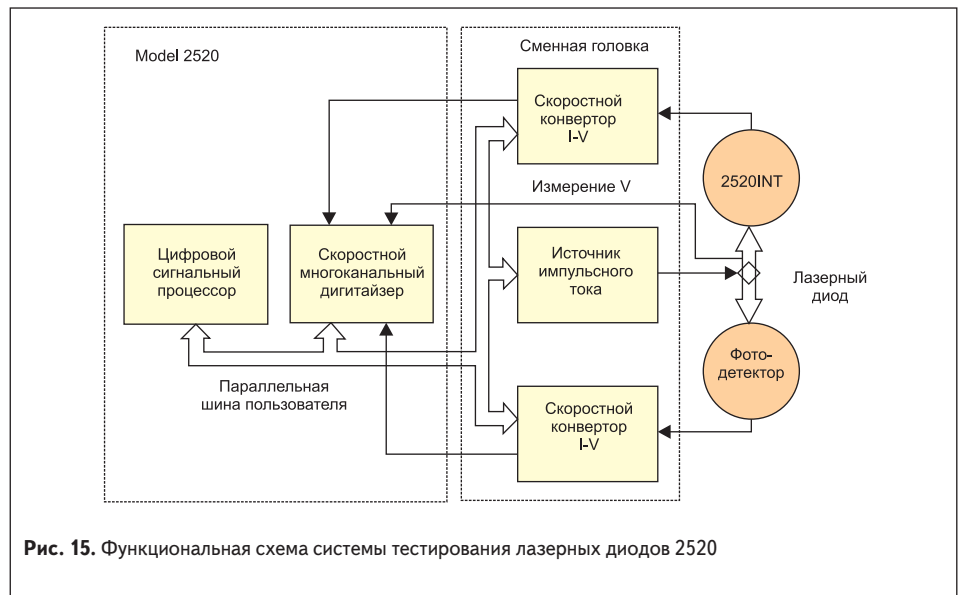


Рис. 15. Функциональная схема системы тестирования лазерных диодов 2520

напряжение») служит система 2520. В ее состав входит базовый измерительный блок стандартной конструкции, интегрирующая сфера и сменная головка с источниками импульсного питания испытуемого лазерного диода (рис. 14, на переднем плане видны модуль подключения лазерного диода, интегрирующая сфера 2520INT).

Функциональная схема системы тестирования лазерных диодов показана на рис. 15. Система содержит цифровой сигнальный процессор, управляющий ходом измерений. Сменная головка обеспечивает три режима электрической накачки лазерных диодов (табл. 4), базовый блок системы обеспечивает выбор нужного режима и выполнение высокоточных измерений напряжений и токов как излучателя, так и контрольного фотодетектора.

В первом режиме накачки импульсы могут иметь времена нарастания 55–80 нс для коротких импульсов и 1–1,3 мкс для импульсов большой длительности на нагрузке 10 Ом. В режиме импульсных токов до 5 А время нарастания для коротких импульсов 100–130 нс, для большой длительности 1–1,3 нс, сопротивление нагрузки 1,5 Ом. Таким образом, для возбуждения наиболее высокоскоростных и мощных лазерных диодов система не предназначена.

В системе предусмотрено измерение напряжения на лазерном диоде в пределах 0–5 и 0–10 В с погрешностью 0,3%+6,5 и 0,3%+8 мВ, соответственно с типичным RMS-значением шума 60 и 120 мкВ. Напряжение питания фотодиода 0–20 В любой полярности. Предусмотрено измерение тока фотодиода в диапазонах 0–10; 20; 50 и 100 мА. Система обеспечивает переключение и измерения до 400 точек менее чем за 8 с.

Таблица 4. Параметры электрической накачки лазерных диодов

Пределы задания тока	Программное разрешение, мкА	Электрическое разрешение, мкА	Погрешность, мА	Шум в полосе 1 кГц–20 МГц, мкА
0–500 мА	10	8	0,2%+0,45	70 (RMS)
0–1 А и DC	100	80	0,2%+4,5	85 (RMS)
0–5 А	100	80	0,2%+4,5	85 (RMS)

Снятие статических характеристик фотодиодов и фототранзисторов

Снятие статических характеристик фотодиодов и фототранзисторов подобно тем же операциям для обычных диодов и транзисторов, с той разницей, что в качестве управляющего параметра используется световой поток, падающий на светочувствительную площадку фотоприемника. Как правило, для создания светового потока используется светодиод или лазерный диод с непрерывным излучением. Излучатель откалиброван по мощности излучения.

Типичная схема измерения статических параметров фотодиода представлена на рис. 16. Излучатель и испытуемый фотодиод обычно размещаются в интегрирующей сфере. Для проведения измерений необходим источник тока для излучателя, источник напряжения и измеритель тока для испытуемого фотоприемника.

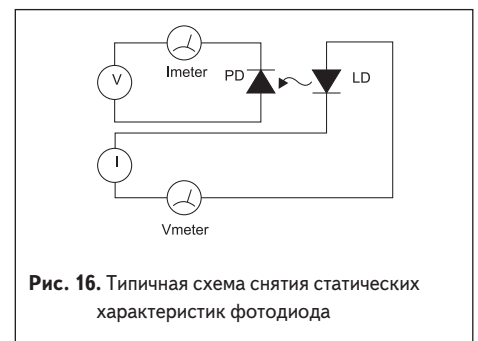


Рис. 16. Типичная схема снятия статических характеристик фотодиода

Для снятия статических вольт-амперных характеристик (ВАХ) фотодиодов, светодиодов, оптронов и других оптоэлектронных приборов может использоваться система 4500-MTS,

которая построена на основе характеристики (рис. 17). Конструктивное оформление системы и принципы ее работы подобны таковым для системы 4200-SCS, предназначенной для обычных полупроводниковых приборов.



Рис. 17. Внешний вид системы 4500-MTS

Система 4500-MTS обеспечивает следующие возможности:

- тестирование до 36 типов оптоэлектронных, в том числе микроэлектронных, приборов;
- прецизионный контроль крутизны и значений инжекционных токов и прямых напряжений одиночных оптоэлектронных приборов;
- открытая архитектура, поддерживающая шины PCI, ISA, USB и GPIB и приборы, ориентированные на работу с ними;
- Ethernet-интерфейс и возможность многопользовательской работы;
- применение встроенного ПК на процессоре P4 с частотой 2 ГГц;
- поддержка различного программного обеспечения, включая LabView, Visual Basic и LabWindows/CVI.

Система может использоваться для накачки лазерных излучателей, питания высокоинтенсивных светодиодов и приборов Рамана, лазерных модулей телекоммуникационных систем, тестирования фотонных и оптоэлектронных интегральных микросхем.

Двухканальный пикоамперметр серии 2502 для фотодиодных измерений

Многие фотоприемники предназначены для регистрации малых световых потоков (например, от объектов звездного неба или систем ночного видения). Они создают очень малые выходные токи и напряжения. Особенно это характерно для фотодиодов. Специально для их тестирования фирма Keithley выпускает двухканальный пикоамперметр серии 2502 (рис. 18). Наличие двух каналов позволяет



Рис. 18. Двухканальный пикоамперметр серии 2502

вести измерения тока для испытуемого фотодиода и фотодиода, встроенного в испытательную камеру и обычно предназначенного для измерения силы (мощности) света вблизи фоточувствительной площадки испытуемого фотодиода.

Двухканальный пикоамперметр серии 2502 имеет следующие характеристики:

- напряжение питания фотодиода 0–100 В любой полярности;
- пределы измерения (меняются декадно) 2 нА–20 мА;
- разрешение по току — 1 фА;
- аналоговый выход 0–10 В с высоким разрешением для создания измерительных систем с обратной связью;
- цифровой вход/выход (I/O) и запуск (Trigger Link);
- интерфейсы IEEE-488 и RS-232 для подключения к ПК.

Системные источники/измерители 2602/2612 для LIV тестирования

Для построения крупных многоканальных измерительных систем служат системные источники/измерители серий 2602 и 2612 фирмы Keithley. Это двухканальные приборы: 2602 — с непрерывным источником тока силой до 3 А и напряжения до 40 В, а 2612 — источник не только с непрерывным, но и с импульсным режимом создания токов и напряжений. Приборы покрывают широкий диапазон токов и напряжений (рис. 19), достаточный для питания подавляющего большинства оптоэлектронных устройств, за исключением особенно сильноточных сверхскоростных лазерных диодов и лазерных светолучающих решеток, которые требуют для на-

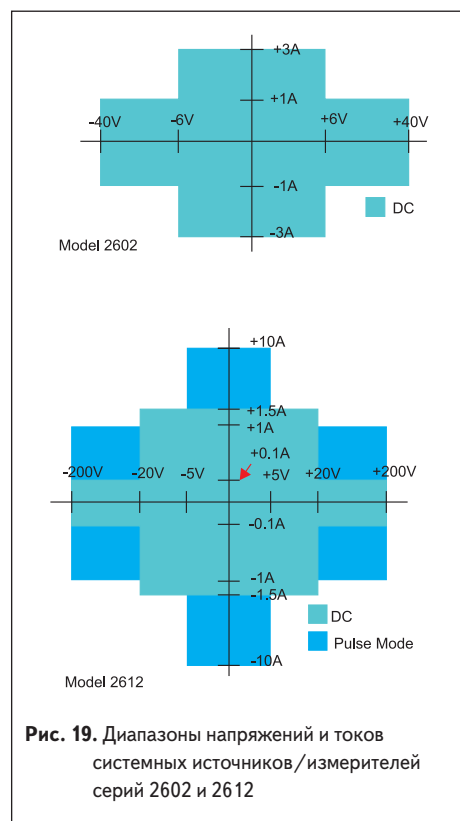


Рис. 19. Диапазоны напряжений и токов системных источников/измерителей серий 2602 и 2612

качки импульсов малой длительности с амплитудой до десятков и сотен ампер.

Системные источники/измерители серий 2602 и 2612 обладают высокой скоростью измерений при внешнем запуске. Это позволяет с помощью ПК организовать быстрое построение по точкам семейств ВАХ, световых и передаточных характеристик различных оптоэлектронных приборов. Для этого в приборы входит специальный программируемый TSP-процессор (Test Script Processor), автоматизирующий эти операции. С помощью встроенного программного средства LabTracer 2.0 создается удобный графический интерфейс пользователя. Он позволяет в окнах наблюдать наглядную измерительную схему и результаты ее работы.

Модуль двухканального импульсного генератора 4205-PG2

Для расширения возможностей тестирования динамических параметров оптоэлектронных приборов (и не только их) фирма Keithley выпускает в виде опции узкий модуль двухканального импульсного генератора 4205-PG2. Он выполнен в виде платы расширения (рис. 20), которая может вставляться в тестирующие устройства.



Рис. 20. Модель двухканального импульсного генератора 4205-PG2

Интерфейс программы (рис. 21) очень нагляден и не нуждается в комментариях. Параметры генерируемых импульсов двух каналов задаются в левой и правой части окна, там же отображаются формы импульсов.

Этот генератор относится к приборам общего назначения. Он имеет типовые для таких приборов и далекие от уникальных параметры: длительность импульса от 10 нс до бесконечности (постоянное напряжение на выходе), амплитуда 0,1–20 В на нагрузке 50 Ом и 0,1–40 В на нагрузке 1 МОм, частота повторения импульсов 1 Гц–50 МГц на низкоомном (50 Ом) выходе и до 2 МГц на высокоомном (1 МОм) выходе.

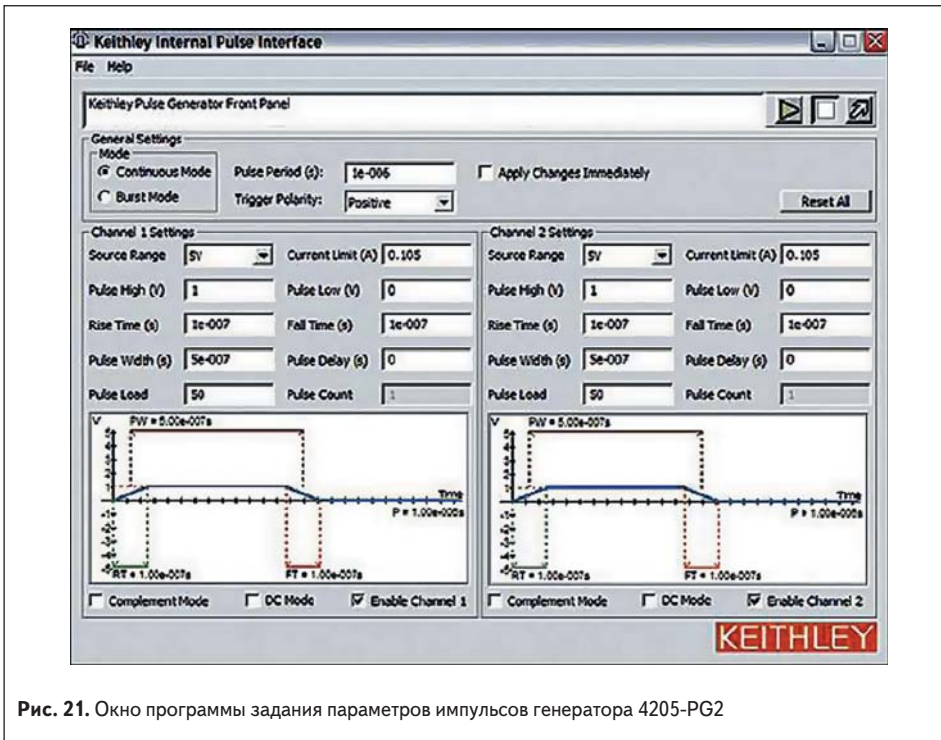


Рис. 21. Окно программы задания параметров импульсов генератора 4205-PG2

Модули импульсного питания лазерных диодов 8542, 8544, 8544-TEC

Полупроводниковые лазеры — низкоомные и сильноточные устройства. Поэтому передача питающих их импульсов по стандартным линиям передачи, например 50-Омным коаксиальным кабелям, практически исключена. Поэтому фирма Keithley выпускает модули импульсного питания лазерных диодов и лазерных светоизлучающих решеток 8542, 8544, 8544-TEC. Их внешний вид показан на рис. 22. Модули используются как внешние устройства (рис. 14).



Рис. 22. Внешний вид модуля импульсного питания лазерных диодов (без лазерного диода)

Модули отличаются оснасткой для подключения лазерных диодов того или иного типа. Могут подключаться к источникам/измерителям серий 2400 и 2500. Амплитуда импульсов тока модулей до 2 А.

Генератор импульсов/паттернов 3402

Высокочастотные светодиоды и лазерные диоды в настоящее время широко использу-

ются в высокоскоростных линиях связи — оптических и световолоконных. Для контроля таких приборов параметры тестирующих систем оказываются явно недостаточными. Например, часто требуется тестирование на сигналах, близких к реальным, например, на сложных импульсных сигналах (паттернах) с кодоимпульсной модуляцией. Для таких испытаний (скорее даже исследований) фирма Keithley выпускает настольный (в том числе для монтажа в стойку) генератор импульсов/паттернов 3402 (рис. 23). Приборы используют прямой цифровой синтез форм сигналов.



Рис. 23. Генератор импульсов/паттернов 3402

Генератор обеспечивает программируемую установку таких параметров импульсов, как форма, число импульсов в последовательности, частота, длительность, время нарастания и спада,

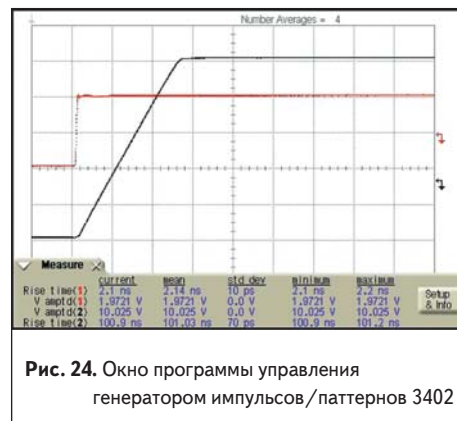


Рис. 24. Окно программы управления генератором импульсов/паттернов 3402

амплитуда и т. д. Возможно задание сложных временных последовательностей. Частота импульсов может устанавливаться на уровне 1 мГц–165 МГц, длительность импульсов 3 нс–1000 с, выпускаются одноканальные (3401-F и 3401-R) и двухканальные (3402-F и 3402-R) генераторы.

На рис. 24 показано окно программы управления генератором импульсов/паттернов 3402. Установки в окне вполне очевидны. Следует отметить, что параметры генераторов далеки от рекордных, объявленных в таких изделиях фирмами Tektronix и Agilent Technology.

Коммутационные оптические карты

В условиях промышленного производства приходится контролировать одновременно множество тестируемых объектов. Для этого фирма Keithley выпускает специальные коммутационные модули, например карты оптического переключения серии 7090 (рис. 25). Карты имеют 8 или 16 оптических каналов. Типичное ослабление сигнала 0,6 дБ, разброс ослабления 0,03 дБ. Максимальное число переключений не менее 10 млн. Спектральный диапазон 780–1350 нм для карты 70-90-8-4 и 1290–1650 для карты 70-90-16-6. Разъемы карт FC/SPC.

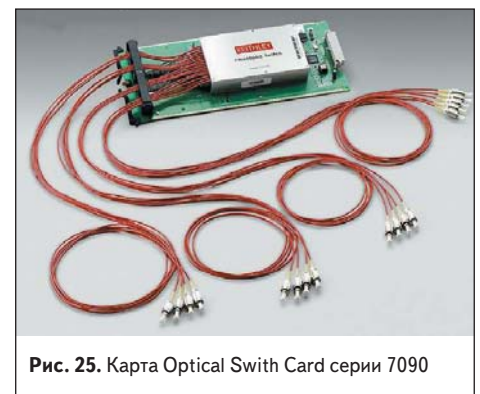


Рис. 25. Карта Optical Switch Card серии 7090

Карты обычно используются как опции для источников/измерителей (рис. 26). Они могут быть применены также для комплектования многоканальных оптических переключателей, конструктивно выполненных в виде стоек серии 7001/7002. Возможна их комбинация с переключателями радиочастот (RF).

Итак, можно сделать вывод, что созданные фирмой Keithley разнообразные средства



Рис. 26. Установка карты Optical Switch Card серии 7090 в источник/измеритель

контроля и испытания оптоэлектронных изделий носят комплексный характер и ориентированы на тестирование массовых изделий. К сожалению, в число таких средств пока не входят средства исследования параметров мощных лазерных диодов с импульсными токами в десятки ампер, мощных лазерных светоизлучающих решеток и сверхскоростных оптоэлектронных устройств. Для их контроля приходится использовать специальные средства, часто реализованные на мощных высокочастотных, высоковольтных и сильноточных активных приборах. Вероятно, они постепенно войдут

и в состав измерительных приборов и систем фирмы Keithley. ●

Литература

1. Иванов В. И., Аксенов А. И., Юшин А. М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы. Справочник. М.: Энергоатомиздат. 1988.
2. A Guide to Electrical Measurements for Nanoscience Applications, 1st Edition. Keithley. 2007.
3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х томах. М.: Мир. 1984.
4. Дьяконов В., Ремнев А., Смердов В. Полупроводниковые инжекционные лазеры и их применение // Ремонт и сервис. 2002. № 12.
5. Дьяконов В., Ремнев А., Смердов В. Волоконно-оптические кабели и особенности их эксплуатации // Ремонт и сервис. 2003. № 2.
6. Дьяконов В., Смердов В. Оптические мини-рефлекторы // Ремонт и сервис. 2004. № 1.
7. Стерлинг Дж. Техническое руководство по волоконной оптике. М.: Лори. 2008.
8. Крюков П. Лазер – замечательное достижение XX века // Квант. 2007. № 3, 4.