

Динамика лазерной генерации микролинеек одномодовых полупроводниковых лазеров (1065 нм), работающих в режиме модуляции усиления

© А.А. Подоскин, И.В. Шушканов, А.Э. Ризаев, В.А. Крючков, А.Е. Гришин, Н.А. Пихтин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: podoskin@mail.ioffe.ru

Поступила в Редакцию 17 ноября 2023 г.

В окончательной редакции 11 января 2024 г.

Принята к публикации 31 января 2024 г.

Исследованы излучатели в виде микролинеек оптически изолированных одномодовых лазеров на основе гетероструктуры с двойной асимметрией, работающие в условиях накачки субнаносекундными импульсами тока. Для микролинеек с различной плотностью заполнения излучающей апертуры продемонстрирован эффект разброса времени задержки включения различных полосков, при этом максимальная разница достигала 50 пс. В режиме модуляции усиления разработанные конструкции микролинеек позволили получать устойчивую генерацию на нулевой моде. При накачке токовыми импульсами длительностью 0.4 нс для микролинейки из 10 излучателей шириной по 6 мкм и периодом 20 мкм продемонстрирована возможность генерации импульсов пиковой мощностью 3 Вт и длительностью 140 пс.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, лазерная линейка, модуляция усиления.

DOI: 10.61011/FTP.2024.01.57634.5766

1. Введение

В настоящее время актуально решение задачи создания компактных, эффективных и доступных источников мощного лазерного излучения суб-нс длительности на основе полупроводниковых лазеров. Практическая значимость определяется широкими возможностями использования таких источников: автомобильные (Light Detection and Ranging) ЛИДАРы, линии связи в свободном пространстве, задающие источники для твердотельных усилителей. Имеющиеся решения на основе волоконных и твердотельных лазеров обеспечивают условия для генерации импульсов требуемой длительности и мощности, однако обладают рядом ограничений с точки зрения их массогабаритных характеристик. Кроме этого, например, для компактных дальномеров автономных транспортных средств помимо указанных характеристик актуально повышение до МГц уровня частоты повторения. Также активно развиваются приложения радиофотоники, когда требуется многоканальная передача высокочастотного электромагнитного излучения высокой мощности. Так, в работе [1] были продемонстрированы оптические тракты на основе мощных импульсных полупроводниковых лазеров нс-длительности и фотоприемников, работающих в фотовольтаическом режиме. В разработанных оптических трактах была реализована передача по оптоволоконной линии с помощью оптической несущей и генерация на полезной нагрузке биполярных электрических импульсов, обеспечивающих генерацию сверхширокополосного сигнала с центральной частотой 750 МГц [1]. Развитие в данном направлении может быть связано с разработкой подходов для генерации

импульсов суб-нс длительностей, что позволит повысить частоту до ГГц значений.

Для перехода к суб-нс длительностям импульсов при решении указанных задач неприменимы доступные имеющиеся решения на основе телекоммуникационных лазеров из-за их низкой мощности [2]. Для генерации мощных лазерных импульсов невозможно использование принципов генерации маломощного оптического информационного сигнала, когда форма и амплитуда лазерного импульса определяются формой и амплитудой импульса тока накачки. Это связано с высокой сложностью создания генераторов импульсов тока накачки требуемой амплитуды (десятки ампер) и длительности (менее нс). Один из возможных вариантов для генерации мощных лазерных импульсов суб-нс длительности основан на использовании мощных многомодовых полупроводниковых лазеров, работающих в режиме модуляции усиления (gain switching) [3,4]. В этом случае длительность импульса тока накачки может быть существенно больше, чем длительность генерируемого лазерного импульса. В последние годы был проведен ряд работ, направленных на исследования подходов по оптимизации лазерной гетероструктуры [4–7], а также параметров резонатора [6]. Исследования показывают, что существует оптимальный набор параметров гетероструктуры и резонатора (длина резонатора и коэффициенты отражения) для генерации импульсов требуемой мощности и длительности [6]. В этом случае расширение излучательной апертуры может быть решением, позволяющим повышать мощность при сохранении оптимальных характеристик структуры и резонатора. В работе [8] исследована суб-нс динамика лазерного из-

лучения мощных полупроводниковых лазеров на длину волны 1060 нм для лазерных диодов с шириной излучающей апертуры 800 мкм при накачке импульсами тока длительностью 3 нс. Исследования показали, что имеет место неоднородность включения вдоль излучающей апертуры, которая может достигать сотен пс. Это расширяет генерируемый импульс и снижает его пиковую мощность, что является основной причиной, ограничивающей возможность использования подобных конструкций для генерации коротких лазерных импульсов в режиме модуляции усиления. Кроме этого, использование широких апертур связано с многомодовой структурой генерируемого излучения, что также снижает эффективность ввода в оптическое волокно. Для решения задачи повышения качества модовой структуры предлагались различные конструкции латерального волновода [9–11]. В работе [9] были исследованы микролинейки одномодовых полосок. Проведенные исследования продемонстрировали возможность генерации пиковой мощности 25 Вт импульсов длительностью 130 нс, при этом дальнейшее параллельное поле имело гаусс-подобную структуру для всего диапазона мощностей без существенных изменений. При этом суб-нс динамика подобных конструкций ранее не исследовалась. В данной работе исследованы особенности генерации мощных суб-нс лазерных импульсов в режиме модуляции усиления (gain switching) различными конструкциями микролинеек на основе полупроводниковых гетероструктур, излучающих на длине волны 1060 нм и характеризующихся высоким качеством латерального поля.

2. Экспериментальные образцы и методика исследований

В работе использован дизайн лазерной гетероструктуры с двойной асимметрией и расширенным волноводом. Асимметрия выражалась как в расположении активной области, так и в различных составах эмиттеров. Дизайн асимметричной гетероструктуры был оптимизирован для решения задачи получения низких внутренних оптических потерь и сниженной диаграммы направленности в перпендикулярном дальнем поле.

Гетероструктура (рис. 1) включала широкозонный $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 10\%$) волновод толщиной 1.6 мкм и активную область на основе двух InGaAs-квантовых ям ($\lambda = 1070$ нм), смещенную в сторону p -эмиттера. Волноводный слой располагался между p -эмиттером $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 35\%$) и n -эмиттером $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 15\%$). Гетероструктура выбранного дизайна была выращена методом МОС-гидридной эпитаксии в реакторе вертикального типа. Далее было изготовлено два типа образцов. Первый тип был изготовлен для стандартной характеристики и представлял собой полупроводниковые лазеры мезаполосковой конструкции шириной 100 мкм. Второй тип образцов изготавливался для исследования динамических характеристик и

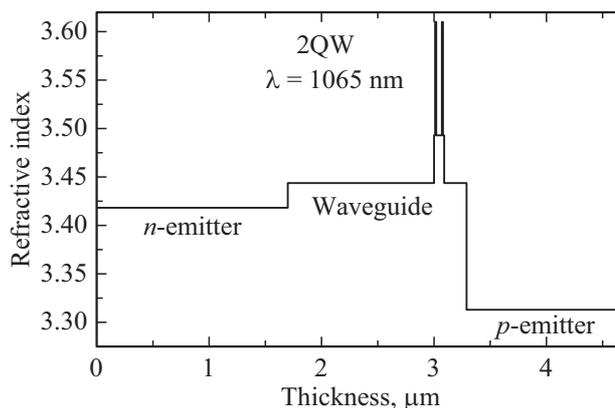


Рис. 1. Конструкция лазерной гетероструктуры.

представлял собой микролинейки из десяти полосок шириной 6 мкм. Для экспериментальных исследований изготавливались два варианта образцов микролинеек: (1) с мезаканавками шириной 14 мкм и общей шириной линейки 185 мкм — HDMSA (High Dense Micro-Stripe Array), (2) с мезаканавками шириной 39 мкм и общей шириной линейки 410 мкм — LDMSA (Low Dense Micro-Stripe Array). Как было показано выше, основная идея использования микролинейки — это возможность генерации мощного лазерного излучения со структурой диаграммы направленности, близкой к одномодовой. Данная задача может быть решена за счет использования линейки одномодовых лазеров. В этом случае важным параметром является глубина мезаканав, разделяющих полоски микролинейки, которые определяют силу латерального волновода. В зависимости от силы латерального волновода можно рассмотреть два крайних режима работы микролинейки. Первый режим реализуется при малой глубине разделяющей мезаканавы и слабом латеральном волноводе, когда наблюдается слабое оптическое ограничение латеральных мод для каждого полоска. Это позволяет сформировать общий волновод, захватывающий всю структуру микролинейки. Однако такой режим является крайне чувствительным к внешним условиям (амплитуде тока накачки, длительности импульса, температуре). Кроме этого, условия одномодовой генерации в такой структуре из-за широкой апертуры также достаточно сложно выполнить. Второй режим реализуется при использовании глубоких мезаканав и сильном латеральном волноводе. В данном случае оптической связью между полосками можно пренебречь и параллельное поле будет определяться волноводными характеристиками отдельного мезаполоска микролинейки. Для выполнения условия генерации нулевой моды был проведен расчет волноводных свойств двумерной мезаструктуры отдельного мезаполоска для выбранного дизайна гетероструктуры, который обеспечивает одномодовый режим генерации. На основе проведенных расчетов были изготовлены экспериментальные образцы микролинеек.

Экспериментальные образцы изготовленных микролинейек имели длину резонатора 3 мм. На торцы излучателей были нанесены просветляющие (5%) и отражающие (98%) покрытия. Далее для проведения экспериментов образцы микролинейек монтировались p -контактом вниз на высокочастотную линию, обеспечивающую согласование с источником, обеспечивающим накачку микролинейки импульсами тока длительностью на полувывоте ~ 0.4 нс и амплитудой до 18.5 А. Конструкция высокочастотной линии обеспечивала электрическое соединение цепи и передачу импульса накачки, а также ее корректное измерение с помощью осциллографа Agilent 54855A. Конструкция измерительного стенда на основе ВЧ линии предусматривала возможность корректной регистрации формы и мощности импульсов оптического излучения с помощью оптической схемы сбора излучения на основе асферической оптики. Оптическая схема позволяла как собирать излучение в измеритель средней мощности, так и вводить оптический пучок в приемные волокна фотодетекторов и анализаторов оптического спектра. Оптическая схема стенда включала точные механические подвижки, которые обеспечивали настройку для регистрации оптического сигнала отдельных излучателей. Форма оптического сигнала регистрировалась с помощью быстродействующего фотодетектора New Focus 1444-50 (20 ГГц) и стробоскопического осциллографа Agilent 86117A (50 ГГц). Средняя мощность излучения регистрировалась термическим датчиком Ophir 3A-P-12-FS. Для регистрации диаграммы направленности использовалась CCD-матрица Ophir BeamStar FX 66.

3. Эксперимент

Для определения свойств гетероструктуры проводились измерения ватт-амперных характеристик полупроводниковых лазеров с полосковым контактом шириной 100 мкм и различной длиной резонатора. Из полученных зависимостей были рассчитаны внутренние оптические потери и внутренний квантовый выход, которые составили 0.3 см^{-1} и 95% соответственно. При этом ток прозрачности составил 130 А/см^2 . Измерения дальнего поля в перпендикулярном направлении проводились с помощью сканирования щелью. Полученные распределения показали стабильность дальнего поля для всего исследованного диапазона токов накачки, при этом расходимость на уровне половины от максимума интенсивности (FWHM) составила 25° . Измерения ватт-амперных характеристик микролинейек обоих вариантов конструкций в непрерывном режиме продемонстрировали наклон 1.01 Вт/А для образцов с длиной резонатора 3 мм (AR-HR).

Исследования режимов работы микролинейек при субнаносекундной накачке включали два этапа. На первом этапе проведено измерение интегральной динамики лазерной генерации для микролинейек HDMSA и

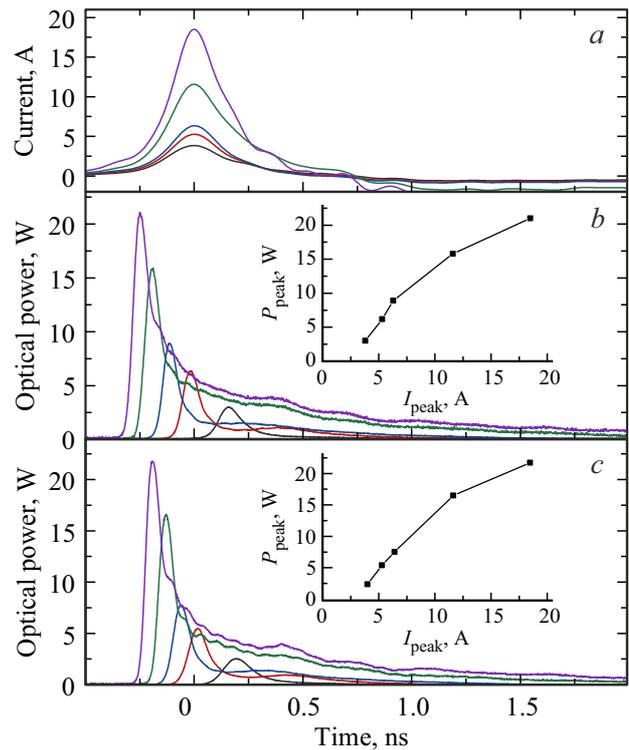


Рис. 2. *a* — формы импульсов тока накачки и типичные формы импульсов оптической мощности (положение по времени не синхронизовано) при различных амплитудах импульсов тока накачки для образцов линейек (AR-HR) из 10 полосков с длиной резонатора 3 мм и *b* — периодом 20 мкм, *c* — 45 мкм; на вставках — зависимости пиковой оптической мощности от амплитуды тока накачки. (Цветной вариант рисунка представлен в электронной версии статьи).

LDMSA. На рис. 2 приведены типичные зависимости формы импульса интегральной оптической мощности в широком диапазоне амплитуд токов накачки. Характер формы импульсов не зависел от периода полосков в микролинейке, что подтверждает отсутствие оптической связи между отдельными полосками линейки. С возрастанием амплитуды тока накачки оптические импульсы демонстрируют появление протяженной хвостовой части импульса, длительность которой существенно превышает длительность импульса тока накачки. Так как наиболее интересным является реализация работы в режиме генерации только так называемого „одиночного пика“ — первого релаксационного всплеска нелинейного колебательного переходного процесса развития лазерной генерации при импульсной накачке [4,5,12], следующие результаты будут приводиться для условий накачки, соответствующих работе в режиме одиночного пика. В данной работе импульс считался одиночным при условии, если амплитуда длительной хвостовой части импульса была $\leq 5\%$ от максимальной.

На рис. 3 приведены формы оптических импульсов в режиме одиночного первого импульса для образцов микролинейек с периодами полосков 20 и 45 мкм, а

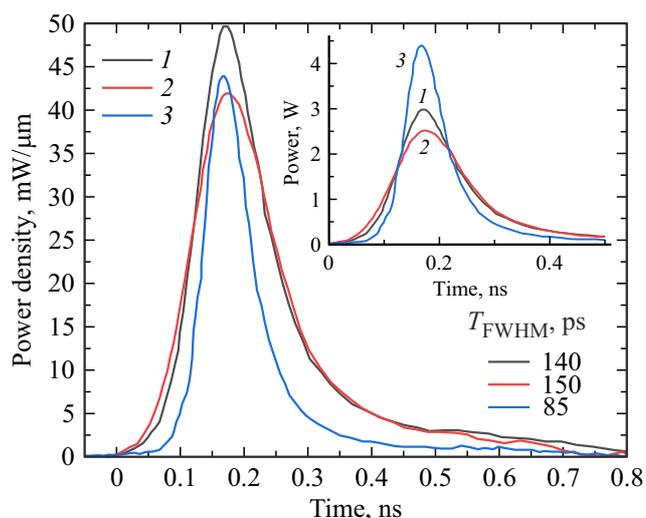


Рис. 3. Приведенные (на 1 мкм ширины излучающей апертуры) и полные мощности (на вставке) для образцов микролинеек с 10 полосками и периодами полосок: 1 — 20 мкм (HDMSA), 2 — 45 мкм (LDMSA), 3 — для образца излучателя со сплошной апертурой 100 мкм.

также для образцов излучателей со сплошной апертурой 100 мкм на основе той же гетероструктуры. Пиковая мощность для образцов микролинеек для конструкций HDMSA и LDMSA достигала 3 и 2.5 Вт соответственно. Удельные мощности на единицу ширины излучающей апертуры для конструкций HDMSA и LDMSA составляли 50 и 42 мВт/мкм соответственно. Это аналогично результатам образцов излучателей со 100 мкм сплошной апертурой с длиной резонатора 1 мм — 44 мВт/мкм. Из измеренной динамики лазерной генерации также видно, что: (1) конструкция микролинейки (расстояние меж-

ду отдельными оптически не связанными полосками) не оказывает значительного влияния на максимальную выходную мощность и форму оптического импульса, (2) ширина оптического импульса микролинеек превосходит ширину импульса излучателя со сплошной апертурой. Так, ширина оптического импульса (FWHM) для образцов микролинеек достигала 140–150 пс, в то время как для образцов со сплошной 100 мкм апертурой — 85 пс.

Для уточнения причины уширения интегрального оптического импульса микролинейки были проведены измерения импульсов для отдельных полосок (рис. 4). Видно, что длительность импульса в режиме одиночного пика при низкой амплитуде тока накачки достигает 130 пс и сокращается до 90 пс с увеличением тока накачки, что также сопровождается появлением дальнейших осцилляций и длительной хвостовой части импульса. На рис. 5 показаны распределения значений относительных времен задержек включения лазерной генерации для различных полосок микролинейки (рис. 5).

Из полученных распределений видно, что крайние полоски (1 и 10 на рис. 5) линейки включаются раньше центральных (5 и 6 на рис. 5). Наблюдаемый эффект характерен для случаев накачки импульсами с субнаносекундными токовыми фронтами как многомодовых излучателей с одиночной сплошной апертурой, так и линеек многомодовых излучателей [8]. Так, для излучателя со сплошной апертурой шириной 800 мкм [8] при использовании идентичной схемы импульсной токовой накачки разброс задержек появления первого оптического пика по времени достигал 350–450 пс. Для микролинеек, даже с учетом их общей ширины, наблюдаемый разброс значительно меньше: 20–25 пс при ширине микролинейки 185 мкм для HDMSA (рис. 5, а) и до 50 пс при ширине микролинейки 410 мкм для LDMSA (рис. 5, б).

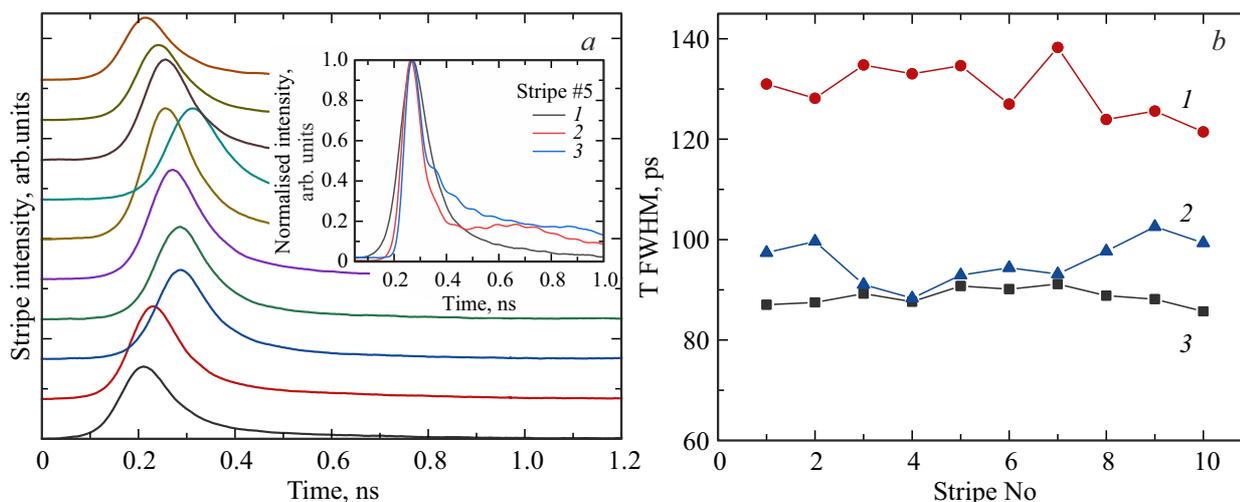


Рис. 4. а — интенсивности излучения отдельных полосок микролинейки с периодом 45 мкм (LDMSA) при токе накачки 4.1 А; на вставке — нормированные интенсивности излучения полоска 5 при различных токах накачки, А: 1 — 4.1, 2 — 6.5, 3 — 18.5. б — длительности импульсов на полувысоте для различных полосок микролинейки для токов накачки: 1 — 4.1, 2 — 6.5, 3 — 18.5.

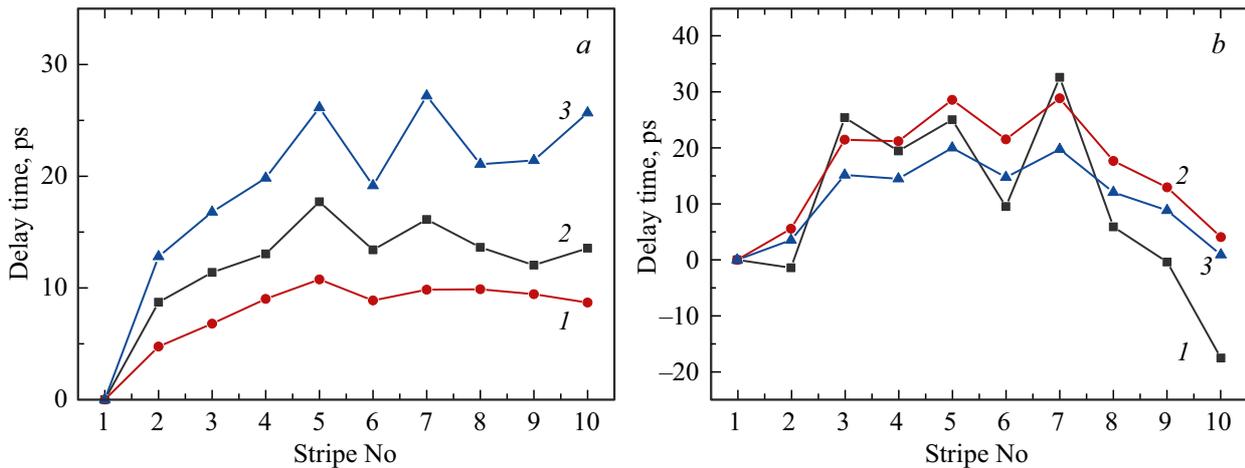


Рис. 5. Распределение относительных (за 0 по времени принят первый крайний полосок) задержек начала лазерной генерации по полоскам при различных амплитудах тока накачки для микролинейек с периодом: *a* — 20 мкм (HDMSA), *b* — 45 мкм (LDMSA) при амплитудах тока накачки, А: 1 — 4.1, 2 — 11.7, 3 — 18.5.

Видно, что разброс задержек пропорционален общей ширине микролинейки. Также из эксперимента (рис. 5) видно сокращение разброса задержек с увеличением тока накачки. Для конструкции HDMSA разброс сокращается с 25 до 10 пс, а для конструкции LDMSA — с 55 до 20 пс. Таким образом, для режима одиночного первого оптического импульса разброс задержки включения в совокупности со значениями ширины импульсов от отдельных полосков позволяют объяснить длительность интегрального импульса линейки 140–150 пс (рис. 3). Наблюдаемую разницу длительностей импульсов отдельных полосков микролинейки и образцов со сплошной 100 мкм апертурой можно объяснить следующими эффектами: (1) для одномодовых полосков есть дополнительные потери, вносимые ограничивающими полосок мезаканавками, (2) модальное дифференциальное усиление в случае линейки — меньше, чем в сплошном полоске, поскольку лазерная мода узкого полоска имеет неоднородное перекрытие с накачиваемой активной областью [12]. Однако первый эффект в представленной конструкции несуществен, поскольку линейки демонстрируют высокие значения излучательной эффективности (наклон ВтАХ снижается незначительно по сравнению с образцами 100 мкм полосковых излучателей). Во втором случае снижение однородности перекрытия области накачки и области оптической генерации подтверждается моделированием поперечного профиля лазерной моды. Так, расчетная ширина профиля на уровне половины амплитуды составляет 4.1 мкм, что существенно меньше ширины мезаполоски, составляющей 6 мкм. При этом на краях мезаполоски расчетная интенсивность лазерной моды составляла 14% от максимума.

Также для образцов микролинейек HDMSA и LDMSA было проведено измерение спектров генерации при различных режимах накачки. Из приведенных спектров (рис. 6) и данных [9] видно, что в нестационарном

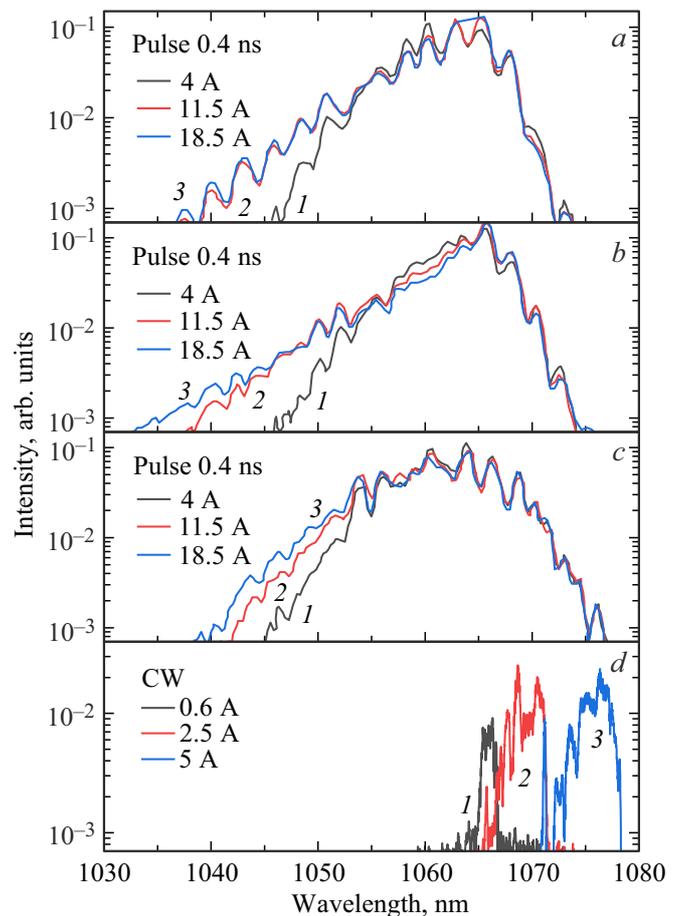


Рис. 6. Спектры генерации для образцов с длиной резонатора 3 мм (AR-HR): *a* — микролинейек с периодом 20 мкм (HDMSA), *b* — микролинейек с периодом 45 мкм (LDMSA), *c* — образца со сплошной 100 мкм апертурой при накачке импульсами длительностью 0.4 нс и амплитудой, А: 1 — 4, 2 — 11.5, 3 — 18.5; *d* — образца со сплошной 100 мкм апертурой при накачке непрерывным током амплитудой, А: 1 — 0.6, 2 — 2.5, 3 — 5.

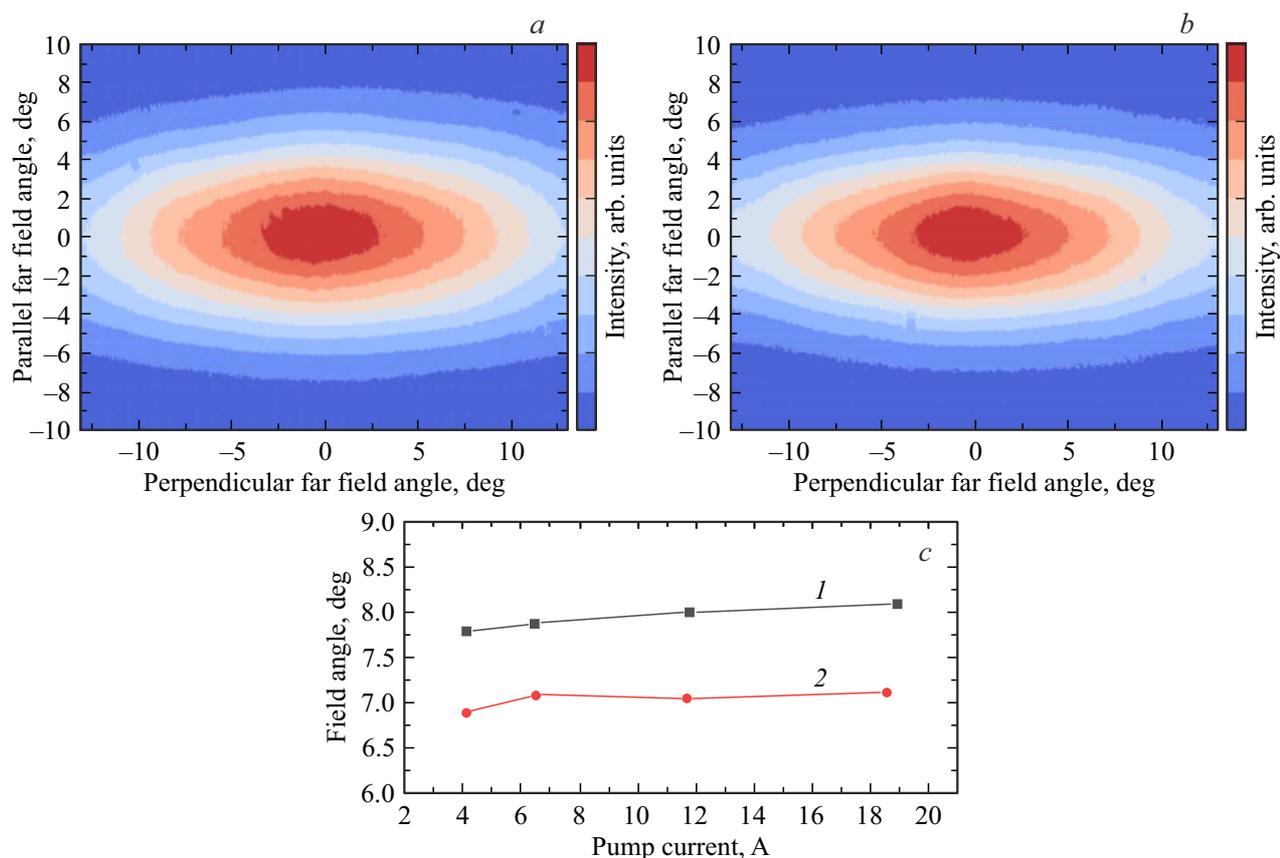


Рис. 7. Вид типичной диаграммы направленности образца микролинейки: *a* — HDMSA и *b* — LDMSA; *c* — расходимость излучения на уровне половины амплитуды по медленной оси для образцов микролинеек с конструкцией HDMSA и LDMSA при различных амплитудах тока накачки (форма импульсов соответствует рис. 2, *a*). (Цветной вариант рисунка представлен в электронной версии статьи).

режиме лазерной генерации (режим модуляции усиления — gain switching) при накачке субнаносекундными импульсами тока происходит расширение спектра генерации в коротковолновую область по сравнению с непрерывным режимом накачки. Подобное поведение аналогично случаю излучателей с объемной активной областью [4]. Известно, что в случае нестационарного процесса установления режима лазерной генерации концентрация носителей заряда в активной области в некоторые моменты времени превышает значения, характерные для стационарного режима генерации при том же токе накачки [12]. Это приводит к включению в процесс генерации новых спектральных линий, и, таким образом, интегральный спектр расширяется, а его максимум сдвигается в коротковолновую область, что согласуется с полученными экспериментальными данными.

С помощью откалиброванной CCD-матрицы была проведена оценка диаграммы направленности образцов микролинеек с конструкциями HDMSA и LDMSA. В дальнем поле, в отличие от излучателей с широкой сплошной апертурой [8], наблюдалась стабильная диаграмма, соответствующая однододовому режиму

генерации отдельных полосков микролинеек (рис. 7). Экспериментальная расходимость в режиме одиночного всплеска в плоскости слоев гетероструктуры для конструкций HDMSA и LDMSA составляла 7.7–8 и 6.9–7.1° соответственно (рис. 7, *c*). Для перпендикулярной плоскости расходимости для конструкций HDMSA и LDMSA составляли 22.8 и 24.9° соответственно, что также соответствует расчетным значениям.

4. Заключение

Проведенные исследования излучательных характеристик микролинеек, работающих в режиме модуляции усиления, продемонстрировали ряд особенностей. В первую очередь было показано, что для микролинеек наблюдается уширение одиночного лазерного импульса до 140–150 пс по сравнению с 85 пс для лазеров со сплошной излучательной апертурой 100 мкм. Это связано как с уширением импульса от отдельных полосков, так и с разницей задержек включения лазерной генерации различных полосков. Данная особенность оказывает негативное влияние на достижения высокой пиковой

мощности. При этом плотность расположения полосков в микролинейке не оказывает существенного влияния на данную характеристику. С другой стороны, микролинейки продемонстрировали стабильную диаграмму направленности, соответствующую фундаментальной оптической моде с высоким качеством латерального поля и расходимостью по двум осям 7.9×22.8 и $7 \times 24.9^\circ$ для конструкций HDMSA и LDMSA соответственно, что является важным фактором при сборке оптических систем формирования луча для ЛИДАРов и дальномеров.

Благодарности

Авторы выражают благодарность П.С. Гавриной за помощь в оформлении материалов публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Д.Ф. Зайцев, В.М. Андреев, И.А. Биленко, А.А. Березовский, П.Ю. Владиславский, Ю.Б. Гурфинкель, Л.И. Цветкова, В.С. Калиновский, Н.М. Кондратьев, В.Н. Косолобов, В.Ф. Курочкин, С.О. Слипченко, Н.В. Смирнов, Б.В. Яковлев. *Радиотехника*, **85**, 153 (2021). DOI: 10.18127/j00338486-202104-17
- [2] N.H. Zhu, Z. Shi, Z.K. Zhang, Y.M. Zhang, C.W. Zou, Z.P. Zhao, Y. Liu, W. Li, M. Li. *IEEE J. Select. Topics Quant. Electron.*, **24**, 1 (2018). DOI: 10.1109/JSTQE.2017.2720959
- [3] J.M.T. Huikari, E.A. Avrutin, B.S. Ryvkin, J.J. Nissinen, J.T. Kostamovaara. *IEEE J. Select. Topics Quant. Electron.*, **21**, 1501206 (2015). DOI: 10.1109/JSTQE.2015.2416342
- [4] А.А. Подоскин, И.В. Шушканов, В.В. Шамахов, А.Э. Ризаев, М.И. Кондратов, А.А. Климов, С.В. Зазулин, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин. *Квант. электрон.*, **53**, 1 (2023).
- [5] B. Ryvkin, E.A. Avrutin, J.T. Kostamovaara. *J. Lightwave Technol.*, **27**, 2125 (2009). DOI: 10.1109/JLT.2008.2009075
- [6] V.S. Golovin, S.O. Slipchenko, A.A. Podoskin, A.E. Kazakova, N.A. Pikhtin. *J. Lightwave Technol.*, **40**, 4321 (2022). DOI: 10.1109/JLT.2022.3159574
- [7] E.A. Avrutin, B.S. Ryvkin, J.T. Kostamovaara, D.V. Kuksenkov. *Semicond. Sci. Technol.*, **30**, 055006 (2015). DOI: 10.1088/0268-1242/30/5/055006
- [8] S.O. Slipchenko, A.A. Podoskin, V.S. Golovin, N.A. Pikhtin, P.S. Kop'ev. *IEEE Photon. Techn. Lett.*, **33**, 7 (2020). DOI: 10.1109/LPT.2020.3040063
- [9] S.O. Slipchenko, I.S. Shashkin, D.A. Veselov, V.A. Krychkov, A.E. Kazakova, A.Y. Leshko, V.V. Shamakhov, D.N. Nikolaev, N.A. Pikhtin. *J. Lightwave Technol.*, **40**, 2933 (2022). DOI: 10.1109/JLT.2022.3144663
- [10] R.J. Lang, A.G. Larsson, J.G. Cody. *IEEE J. Quant. Electron.*, **27**, 312 (1991). DOI: 10.1109/3.81329
- [11] G.M. Smith, L.J. Missaggia, M.K. Connors, J.P. Donnelly, R.B. Swint, G.W. Turner, M. Dogan, J.H. Jacob. *2014 Int. Semiconductor Laser Conf.*, Palma de Mallorca, Spain, 2014 (IEEE 2014 Int. Semiconductor Laser Conf.) p. 199. DOI: 10.1109/ISLC.2014.232
- [12] L.A. Coldren, S.W. Corzine, M.L. Mashanovitch. *Diode lasers and photonic integrated circuits* (John Wiley & Sons, 2012). DOI: 10.1002/9781118148167

Редактор Г.А. Оганесян

Dynamics of laser generation in single-mode microstripe semiconductor laser bar (1065 nm) operating in gain-switching mode

A.A. Podoskin, I.V. Shushkanov, A.E. Rizaev, V.A. Krychkov, A.E. Grishin, N.A. Pikhtin

Ioffe Institute,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract The study investigates microstripe bars of optically isolated single-mode lasers based on heterostructures with double asymmetry, operating under sub-nanosecond current pulse pumping conditions. For microstripe bars with different filling densities of the emitting aperture, the effect of time delay dispersion of various stripes' turn-on is demonstrated, with a maximum difference up to 50 ps. The developed microstripe bar designs demonstrate stable zero mode lasing. The microstripe bar consisting of 10 stripes with a $6\mu\text{m}$ width and a stripe period of $20\mu\text{m}$ demonstrates pulses with a peak power of 3 W and a duration of 140 ps under 0.4 ns current pulses pumping.