

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФОТОНИКА

УДК 628.932

### АНАЛИЗ НЕТОЧНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ НАВЕДЕНИЯ КОЛЛИМИРУЮЩЕГО ПУЧКА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

© 2023 г. Р. А. Горелов<sup>1,\*</sup>, К. А. Перекусихина<sup>1</sup>, Р. Н. Беляев<sup>1</sup>, А. В. Горбачёв<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Россия

\*E-mail: era\_1@mil.ru

Поступила в редакцию 09.10.2023 г.

После доработки 09.10.2023 г.

Принята к публикации 10.11.2023 г.

Рассмотрены ошибки наведения коллимированного пучка, факторы, вызывающие эти ошибки, и методы уменьшения отклонений коллимированного пучка полупроводниковых лазеров.

DOI: 10.56304/S2782375X23040058

#### ВВЕДЕНИЕ

С улучшением характеристик полупроводниковые лазеры становятся привлекательными в качестве источников света во многих областях, таких как прямая обработка материалов, мощная твердотельная лазерная и волоконная лазерная накачка, медицинские и дисплейные приложения. Однако низкое качество луча по-прежнему является основным узким местом, ограничивающим их дальнейшее применение.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для расширения области применения полупроводниковых лазеров необходимы должные формирование луча и оптический дизайн. Низкое качество луча обусловлено волновыми свойствами активной области полупроводниковых лазеров.

Ошибка наведения коллимированного луча (ОНКЛ): лазерный блок состоит из коллимированных лазерных стержней с коллиматорами по быстрой оси (КПБО). У лазерного стека есть проблема с лучом, которая называется ОНКЛ [1].

Стек полупроводниковых лазеров состоит из нескольких стержней полупроводниковых лазеров, расположенных вертикально, как показано на рис. 1 [2]. Для большинства применений стержни в вертикальном стеке должны быть сначала коллимированы по быстрой оси. Диаграмма дальнейшей зоны полупроводникового лазера с коллимацией по быстрой оси представляет собой прямоугольный пучок, как показано на рис. 2 [3].

На рис. 2 полупроводниковые лазерные стержни разделены радиаторами. При наличии радиаторов шаг между двумя стержнями обычно

составляет от 1 до 2 мм. Большой шаг вызывает прекращение интенсивности стека полупроводникового лазера, а рисунок в дальней зоне представляет собой светлые и темные полосы, показанные на рис. 2. Следовательно, с увеличением количества лазерных стержней качество луча ухудшается.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Типичные ОНКЛ показаны на рис. 3 и отмечены прямоугольником. На рис. 4а показана идеальная интенсивность луча лазерного пучка в дальнем поле, а на рис. 4б – типичные ОНКЛ [4]. Как показано на рис. 4б,  $\Delta D$  обозначает ОНКЛ вдоль быстрой оси,  $\delta$  – ОНКЛ, повернутого вдоль медленной оси,  $\beta$  – ОНКЛ вдоль медленной оси.

ОНКЛ лазерной установки обусловлены тремя факторами. Первый – это широкая улыбка лазерных полос. Если лазерные стержни, используемые в лазерном стеке, имеют малую ширину (менее 1 мкм), это существенно не снижает качество

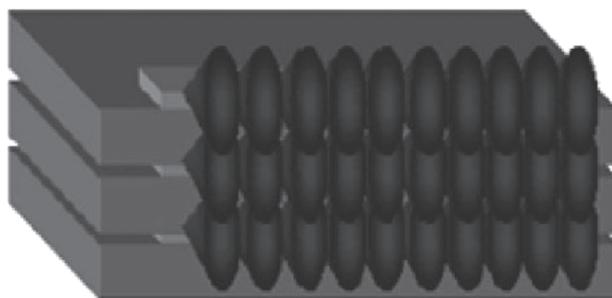


Рис. 1. Стек полупроводникового лазера.



Рис. 2. Диаграмма дальнего поля полупроводникового лазерного пакета с быстрой коллимацией оси.

коллимированного луча лазерных стержней. Вторым фактор — это ошибка установки КПБО. Третьим фактором является ошибка установки стека во время процесса сборки лазерного стека.

КПБО представляет собой микроасферическую линзу, а распределение интенсивности лазерного луча в дальнем поле очень чувствительно к ее положению. Очевидно, что незначительные ошибки при установке КПБО могут снизить качество коллимированного луча. Ниже обсудим несколько типичных ошибок установки КПБО. В качестве примера использовали лазерный блок с семью лазерными стержнями, грани на лазерных стержнях расположены как “1, 2, 3, 4, 5, 6, 7”,

как показано на рис. 5 [5]. Идеальное распределение интенсивности дальнего поля без какой-либо ошибки установки КПБО показано на рис. 5а. Шесть типичных ошибок установки КПБО показаны слева на рис. 5б и обозначены  $-\delta'$ ,  $\delta''$ ,  $-\Delta z$ ,  $\Delta D'$  и  $-\Delta D'$  соответственно. Во-первых, первая и последняя линзы повернуты по оси  $z$  с углами  $\delta'$  и  $-\delta'$  соответственно, их значения составляют  $-\delta' = -0.1^\circ$  и  $\delta' = 0.1^\circ$ ; во-вторых, вторая и шестая линзы расположены вдоль оси  $ab$  с расстояниями  $\Delta D'$  и  $-\Delta D'$  соответственно,  $\Delta D' = -0.01$  и  $-\Delta D' = 0.01$  мм; наконец, положения третьей и пятой линз находятся вне фокусного пятна КПБО с расстояниями  $\Delta z$  и  $-\Delta z$  соответственно,  $-\Delta z = -0.2$  и  $\Delta z = 0.2$  мм. В правой части рис. 5б показана стимулированная интенсивность дальнего поля лазерных полос с ошибками установки, и, очевидно, наблюдаются ОНКЛ, вызванные ошибками установки КПБО. Таким образом, уменьшение погрешности установки каждого лазерного стержня с помощью объектива КПБО является важным шагом для контроля погрешности точки коллимированного луча лазерного блока.

Во время процесса сборки лазерного стека ОНКЛ также может быть вызвана ошибкой установки стека. Это означает, что во время упаковки между каждым лазерным стержнем лазерной стопки возникают отклонения в положении, такие как наклон или смещение лазерных стержней вдоль быстрой или медленной оси. Таким образом, уменьшение ошибок при установке во время упаковки стека является еще одной важной мерой. Чтобы уменьшить ОНКЛ, был предложен метод управления лучом. Основные этапы показаны на рис. 6 [6]. Во-первых, добавляются

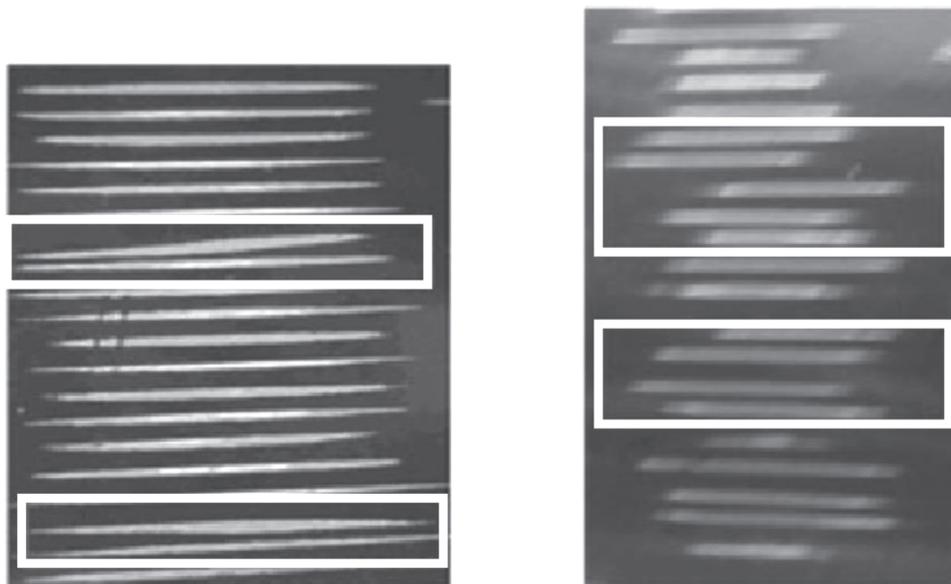


Рис. 3. Результат проверки ошибки точки луча по вертикальной оси.

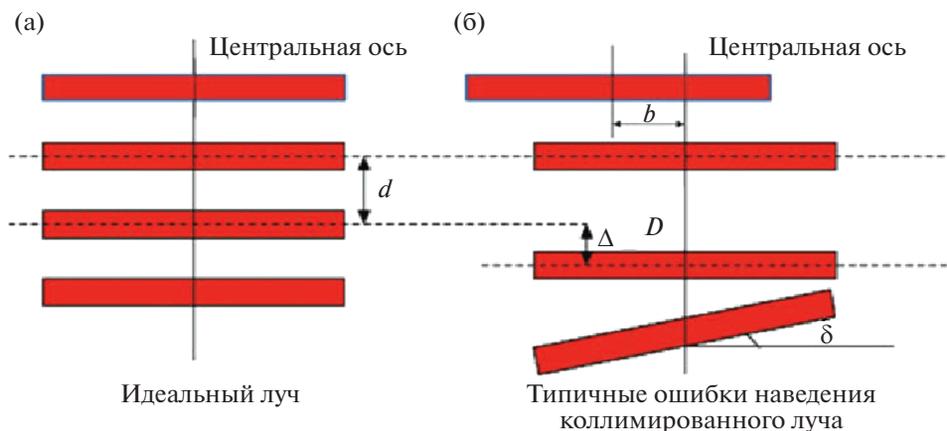


Рис. 4. Схема ошибки точки коллимированного луча: а – идеальный луч, б – типичные ошибки наведения коллимированного луча.

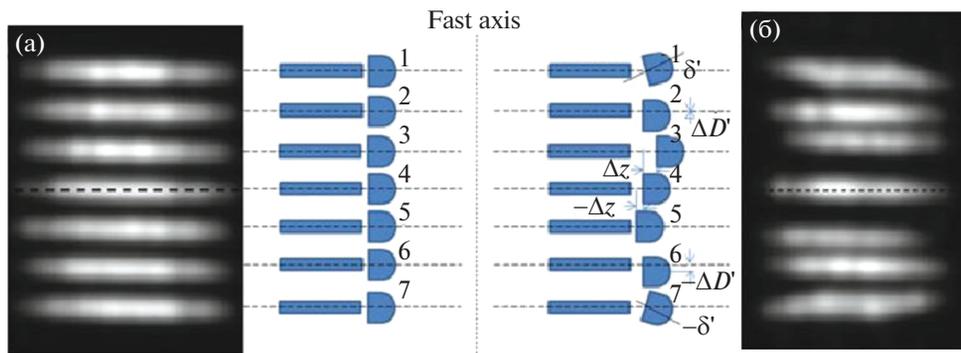


Рис. 5. Ошибка коллимированного луча стека из-за ошибки установки КПО: а – идеальный луч без ошибки установки, б – типичные ошибки установки и коллимированного луча.

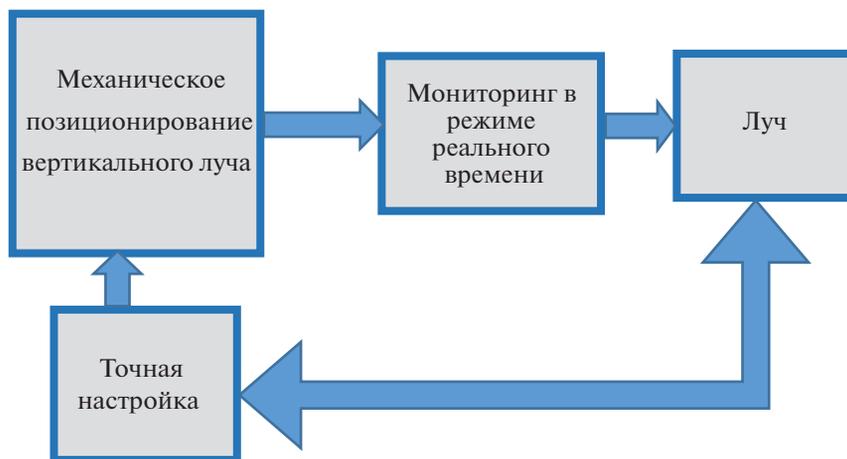


Рис. 6. Процесс управления направлением наведения.

компоненты быстрой коллимации осей, чтобы направление каждого стержня было согласованным. А затем, используя современное оборудова-

ние для мониторинга в режиме реального времени, положение каждого стержня настраивается с учетом вертикальной и горизонтальной ориен-

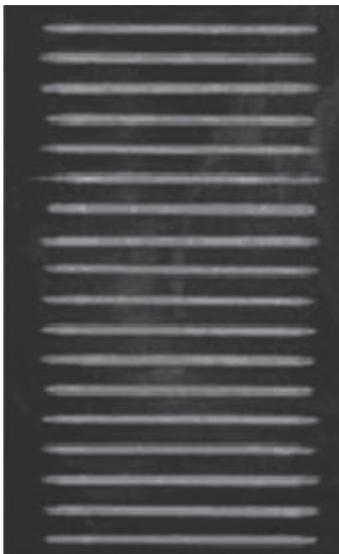


Рис. 7. Исправленный результат.

тации для обеспечения точного позиционирования.

Основываясь на этом подходе, ошибка наведения луча в лазерном стеке может быть успешно исправлена. Как показано на рис. 7, значение параметра  $\delta$  ниже  $0.1^\circ$ ;  $\Delta D$  и  $b$  в приложениях в основном можно игнорировать.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы оптические принципы, ошибки коллимации полупроводниковых лазеров и способы их исправления. Низкое качество луча полупроводниковых лазеров должно быть улучшено перед применением.

Как правило, ошибки коллимации связаны с неправильной установкой лазерных стеков или с неправильной установкой оптических элементов. Для исправления данных ошибок и улучшения качества луча полупроводниковых лазеров необходимы качественное формирование луча и проведение точной коллимации луча на каждом этапе установки оптической схемы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Li X.N., Peng C.H., Zhang Y.X. et al.* // Proc. ICEPT-HDP. 2010. P. 1350.
2. *Cai W.S., Yang K., Mu M.G.* // Internal Report. 2011. V. 6. P. 40.
3. *Борейшо В.А., Клочков Д.В., Коняев М.А. и др.* Военные применения лазеров: учебное пособие. СПб.: Балт. гос. тех. ун-т, 2015. 103 с.
4. *Xiong L.L., Wang M., Wang X.B. et al.* // Proc. SPIE. 2012. V. 8241. P. 21.
5. *Vetrovec J., Shah R.S., Endo T. et al.* // Proc. SPIE. 2004. V. 5332. P. 235.
6. *Hodges A., Wang J., De Franza M. et al.* // Proc. SPIE. 2007. V. 6552. 65521E. P. 1.