

А. Б. ВЕСЕЛОВСКИЙ, А. С. МИТРОФАНОВ, Г. Д. ФЕФИЛОВ

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА В ДИФРАКТОМЕТРИИ

Экспериментально исследована пространственная когерентность полупроводникового лазера с длиной волны излучения 630 нм. Выявлена достаточно высокая пространственная когерентность, позволяющая применять полупроводниковый лазер в дифрактометрии. На примере дифракции на щели показана возможность получения контрастных дифракционных картин, возникающих при воздействии излучения, генерируемого полупроводниковым лазером.

Ключевые слова: полупроводниковый лазер, пространственная когерентность, дифрактометрия микрообъектов.

Как известно, лазерные дифрактометры, широко используемые, в частности, при измерениях и контроле микроразмеров объектов (таких как тонкая проволока, щели, зазоры, отверстия и др.) в диапазоне от единиц до сотен микрометров, являются прецизионными измерительными устройствами [1].

Принцип действия дифрактометра основан на получении дифракционной картины Фраунгофера облучаемого объекта и анализе параметров распределения интенсивности в дифракционной картине, позволяющем определять размеры микрообъекта [2].

Для получения качественной дифракционной картины требуется источник когерентного излучения. Наиболее широко в качестве такого источника применяются He—Ne-лазеры, обладающие высокой когерентностью излучения. Однако данные лазеры имеют значительные габариты, используют, как правило, источники высокого напряжения и являются дорогими устройствами. Перспективным направлением представляется замена таких лазеров в дифрактометрах на малогабаритные, низковольтные, дешевые и надежные полупроводниковые лазеры, в области развития которых достигнут существенный прогресс.

В настоящей статье представлены результаты исследования пространственной когерентности полупроводникового лазера марки LD-63058KA2 красного свечения с длиной волны излучения $\lambda=630$ нм, мощностью 5 мВт, с коллимированным лазерным пучком.

Функция пространственной когерентности полупроводникового лазера исследовалась с помощью интерферометра Юнга. На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки,

в состав которой входят: 1 — лазерный излучатель, 2 — экран с набором пар отверстий, 3 — подвижная шторка, 4 — передающая видеокамера (ПЗС), 5 — средство визуализации и обработки сигнала.

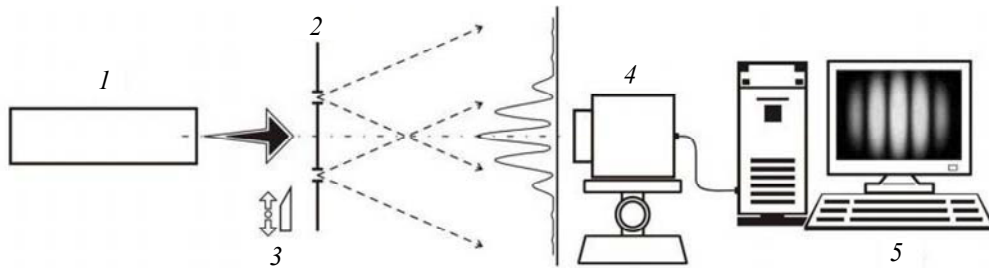


Рис. 1

Степень пространственной когерентности полупроводникового лазера определялась между двумя точками поперечного сечения лазерного луча, находящимися на различных расстояниях Δ друг от друга: 150, 250, 350 и 450 мкм. Это обеспечивалось непрозрачным экраном интерферометра Юнга, имеющим четыре пары расположенных на указанных расстояниях друг от друга микроотверстий, на которые поочередно направлялся лазерный луч.

Интерференционная картина, возникающая при прохождении через нее излучения, проецировалась на приемную площадку ПЗС-камеры и преобразовывалась в дискретный электрический сигнал, описывающий распределение интенсивности в регистрируемой интерференционной картине. Сигнал оцифровывался и выводился на компьютер.

Степень пространственной когерентности $\gamma(\Delta)$ рассчитывалась для каждой из четырех пар отверстий по формуле

$$|\gamma(\Delta)| = \frac{I_1 + I_2}{2\sqrt{I_1 I_2}} V, \quad (1)$$

где V — контраст интерференционной картины, I_1 и I_2 — интенсивности излучения, проходящего через каждое из отверстий, измеренные в точке определения контраста картины.

Контраст интерференционной картины определялся по формуле

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (2)$$

где I_{\max} и I_{\min} — значения интенсивности интерференционной картины в максимуме и соседнем минимуме интерференционного распределения.

Поскольку распределение амплитуды в поперечном сечении лазерного пучка неравномерно, а каждая из пар отверстий располагается в плоскости поперечного сечения пучка случайным образом, световая энергия, прошедшая через каждое отверстие и образующая интерференционную картину, не одинакова. Для компенсации этого эффекта в выражение (1) был включен множитель $\frac{I_1 + I_2}{2\sqrt{I_1 I_2}}$. Для измерения значений интенсивностей I_1 и I_2 отверстия в эк-

ране, на которые направлен лазерный луч, перекрывались с помощью подвижной шторки. Перекрывая поочередно одно из пары отверстий, можно было наблюдать на экране компьютера распределения интенсивности дифракционной картины в каждом из отверстий. Значения интенсивностей I_1 и I_2 поля рассеяния излучения, проходящего через каждое из отверстий, измерялись в точке максимальной интенсивности интерференционной картины, соответствующей этой паре отверстий, т.е. в точке, для которой определялся ее контраст.

В табл. 1 приведены рассчитанные значения степени пространственной когерентности $\gamma(\Delta)$ исследуемого полупроводникового лазера при использовании пар отверстий, на которые

направлен лазерный пучок, на заданных расстояниях между их центрами (значения интенсивности приведены в относительных единицах).

Таблица 1

Номер пары отверстий	Величина						
	измеряемая					рассчитываемая	
	Δ , мкм	I_{\max}	I_{\min}	I_1	I_2	V	$\gamma(\Delta)$
1	150	190	6	50	27	0,94	0,98
2	250	96	14	60	14	0,75	0,95
3	350	205	23	40	67	0,8	0,82
4	450	86	14	16	38	0,72	0,79

Результаты аналогичных измерений, проведенных для He—Ne-лазера марки ЛГН-108, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер пары отверстий	Величина						
	измеряемая					рассчитываемая	
	Δ , мкм	I_{\max}	I_{\min}	I_1	I_2	V	$\gamma(\Delta)$
1	150	169	11	62	17	0,87	0,97
2	250	200	39	105	18	0,67	0,95
3	350	151	34	71	20	0,63	0,76
4	450	141	68	92	63	0,34	0,35

Как показывает анализ приведенных в табл. 1 и 2 результатов, пространственная когерентность исследованного полупроводникового лазера оказалась достаточно высокой и сопоставимой с пространственной когерентностью He—Ne-лазера, что позволяет сделать вывод о возможности использования полупроводниковых лазеров в дифрактометрии.

Для проверки этого вывода были проведены эксперименты по получению и наблюдению дифракционной картины Фраунгофера оптической щели, ширина которой изменялась в диапазоне от 10 до 50 мкм. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2, где 1 — лазерный излучатель, 2 — оптическая щель, 3 — короткофокусная линза, 4 — видеокамера (ПЗС), 5 — средство визуализации и обработки сигнала.

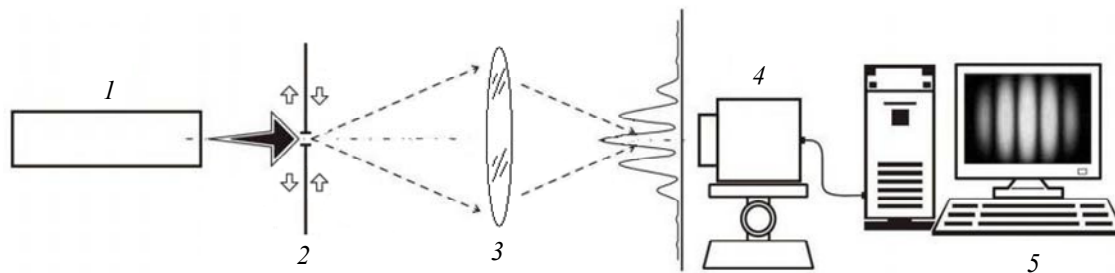


Рис. 2

На рис. 3 приведен пример полученного дифракционного распределения интенсивности при облучении щели шириной 25 мкм излучением полупроводникового лазера.

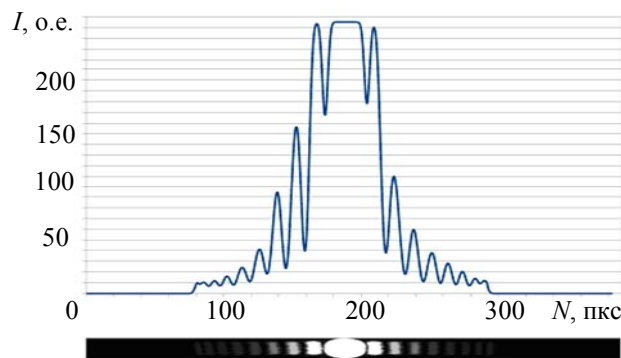


Рис. 3

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования полупроводниковых лазеров в дифрактометрии. По мнению авторов, целесообразны дальнейшие исследования по выявлению полупроводниковых лазеров с наибольшей пространственной когерентностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тарлыков В. А.* Лазерная дифрактометрия микрообъектов типовой формы: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб, 2000.
2. *Крылов К. И., Прокопенко В. Т., Митрофанов А. С.* Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. Л.: Машиностроение, 1978. 336 с.

Сведения об авторах

- Андрей Борисович Веселовский* — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерной техники и биомедицинской оптики;
E-mail: avesel@mail.ru
- Андрей Сергеевич Митрофанов* — канд. техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерной техники и биомедицинской оптики;
E-mail: mitrofanas-1941@mail.ru
- Георгий Дмитриевич Фефилов* — канд. техн. наук; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерной техники и биомедицинской оптики;
E-mail: fg1319@mail.ru

Рекомендована кафедрой лазерной техники и биомедицинской оптики

Поступила в редакцию
26.04.13 г.