

$$+ \Delta)^2 ds; \quad R_i(\Delta) = B_i(\Delta) [D_{1i}(\Delta) D_{2i}(\Delta)]^{-1/2}; \quad B_i(\Delta) = S_{i0}^{-1} \int_{S_i} \hat{F}_{2i}(s) \hat{F}_{1i}(s + \Delta) ds;$$

$$\hat{F}_{2i}(s) = F_2(s) - S_{0i}^{-1} \int F_2(s) ds; \quad \hat{F}_{1i}(s + \Delta) = F_1(s + \Delta) - S_{i0}^{-1} \int F_1(s + \Delta) ds.$$

введенным в работе [3].

Таким образом, в данном сообщении показано, что оптимальный алгоритм измерения сдвига фрагмента существенно зависит от принятой модели возможных изменений характеристик изображения. Это необходимо учитывать при построении измерителей сдвига.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуткин Л. С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах.— М.: Сов. радио, 1977.
2. Ковалевский В. А. Корреляционный метод распознавания изображений.— ЖВМ и МФ, 1962, т. 2, № 4.
3. Пытьев Ю. П. Морфологические понятия в задачах анализа изображений.— ДАН, 1975, т. 224, № 6.

Поступило в редакцию 18 февраля 1983 г.

УДК 535.317.2 : 681.332

С. М. БОРЗОВ, О. И. ПОТАТУРКИН

(Новосибирск)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ В ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯТОРАХ

Практическое применение оптико-электронных устройств распознавания изображений на основе голографических корреляторов в значительной степени зависит от эксплуатационных характеристик и габаритов источников света. С этой точки зрения большой интерес представляют полупроводниковые лазеры, для которых характерны малые габариты, незначительная потребляемая мощность и низкая стоимость. Однако использование полупроводниковых лазеров в голографических корреляторах изображений сопряжено с рядом трудностей. Недостаточная монохроматичность и пространственная когерентность таких источников приводят к ограниченно размерности обрабатываемых изображений и дополнительным искажениям вычисляемых корреляционных функций. Кроме того, следует отметить большую расходимость, малую мощность и анизотропию диаграммы направленности излучения. Некоторые из этих факторов существенны для всех типов голографических корреляторов (например, монохроматичность излучения), другие (пространственная когерентность, анизотропия диаграммы направленности излучения) характерны в основном для традиционных амплитудных корреляторов и не оказывают влияния на вычисления в голографических корреляторах интенсивности (ГКИ). Поэтому в работе исследуется возможность применения полупроводниковых лазеров в ГКИ.

Линейность обработки по интенсивности достигается в ГКИ различными способами. В данной работе выбран вариант обработки с усреднением результирующего светового распределения в корреляционной плоскости [1, 2]. Согласно [2], на выходе коррелятора получаем

$$g(r) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{g}(r, r_1) \tilde{g}^*(r, r_1') \gamma(r_1 - r_1') dr_1' dr_1, \quad (1)$$

где $\tilde{g}(r, r_1) = f(r_1) h(r + r_1) \exp[j\varphi(r + r_1)]$; $\gamma(\cdot) = \mathcal{F}[S(\omega)]$; $f(r)$ — амплитудное распределение распознаваемого изображения (РИ); $h(r)$ — амплитудное распределение эталонного изображения (ЭИ), промодулированного (при записи фильтра) случайной фазовой маской вида $\exp[j\varphi(r)]$; $S(\omega)$ — траектория спектра Фурье РИ в пло-

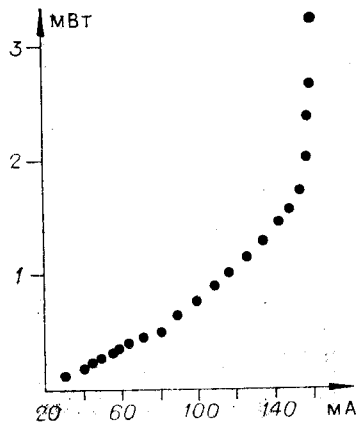


Рис. 1.

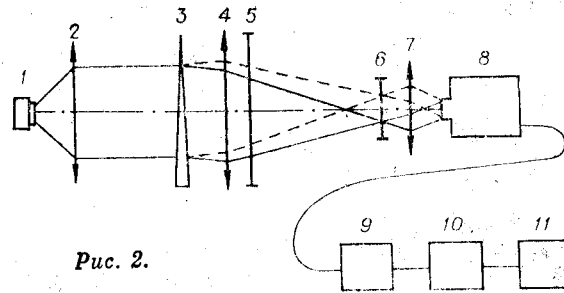


Рис. 2.

скости фильтра. При круговом режиме работы дефлектора с достаточно большими углами отклонения функция $\gamma(\cdot)$ близка к δ -функции, поэтому из (1) следует, что

$$g_{nc}(r) = |f(r)|^2 * |h(r)|^2$$

соответствует корреляционной функции РИ и ЭИ по интенсивности.

В качестве источника света был выбран полупроводниковый лазер ИЛПН-2к, поскольку у него возможен одночастотный режим генерации (одна продольная мода) на наиболее короткой (из серийных приборов) длине волны ($\lambda \approx 0,78$ мкм). Ватт-амперная характеристика такого лазера приведена на рис. 1. Пологий участок характеризует спонтанное излучение, крутой — режим генерации. Предельно допустимое значение тока накачки при эксплуатации прибора определяется уровнем средней мощности лазерного излучения, который не должен превышать 3,5 мВт. В противном случае лазер быстро деградирует.

Ватт-амперная характеристика чувствительна к изменению температуры лазера: при уменьшении температуры она смещается в область низких, а при увеличении — в область высоких токов. Прибор работает при температурах от -60 до $+25^\circ\text{C}$. Для поддержания постоянной температуры лазер должен быть закреплен на радиаторе. Желательно также обеспечить обратную связь по мощности излучения и температуре прибора. Поскольку ватт-амперные характеристики различных лазеров отличаются друг от друга, ток накачки может изменяться от 150 до 250 мА при напряжении не более 2 В.

Сразу же после возникновения генерации (при комнатной температуре) лазер работает в многомодовом режиме. Однако для конкретных температур путем изменения тока накачки, а следовательно, и мощности излучения можно получить одночастотный режим генерации [3].

Температура лазера поддерживалась нами на уровне 19°C , и при увеличении тока накачки постепенно выделялась одна из мод. Генерация одной моды в этом случае достигалась при критических мощностях 3,6—3,7 мВт, поэтому практически все эксперименты выполнялись в режиме, близком к одночастотному, но отличном от него (3,2 мВт).

С помощью интерферометра Майкельсона измерена длина когерентности лазера при различных мощностях его излучения и определена полоса пропускания ГКИ: $N \sim l/\lambda$, где N — число обрабатываемых элементов разрешения по одной пространственной координате, а l — измеренное значение длины когерентности. Контраст интерференционной картины имел циклическую структуру, обусловленную взаимодействием соседних цугов, причем период, определяемый длиной резонатора, был равен 0,85 мм. В результате измерений получена сильная зависимость длины когерентности от мощности излучения: 2,4 мВт — 0,03 мм, 2,6 мВт — 0,09 мм, 2,9 мВт — 0,25 мм, 3,2 мВт — 0,43 мм. При мощности излучения свыше 3,2 мВт контраст интерференционных полос в промежутках между цугами становился ненулевым и длина когерентности в этом случае начинала превышать половину периода. Поэтому, несмотря на сравнительно малую длину цугов излучения лазера, степень временной когерентности в таком режиме отлична от 0 при любом сдвиге интерферирующих пучков до величины, определяемой добротностью резонатора (> 10 мм).

Исследования степени пространственной когерентности полупроводникового лазера, проведенные с помощью интерферометра Маха — Цандера, показали, что радиус пространственной когерентности значительно превышает размер апертуры вынужденного излучения. Следовательно, такой прибор не может быть использован в голографических корреляторах в качестве пространственно-некогерентного источника света. Это подтверждает целесообразность применения ГКИ с усредненным выходного светового распределения.

Нами создан и исследован экспериментальный макет коррелятора, схема которого приведена на рис. 2, где 1 — лазер, 2 — конденсорная линза; 3 — вращающийся клин; 4, 7 — объективы; 5 — транспарант с РИ; 6 — голографический фильтр; 8 — видикон; 9 — монитор; 10 — блок выделения телевизионной строки; 11 — осциллограф. Конденсорная линза 2 использовалась для создания квазипараллельного пучка. Ее

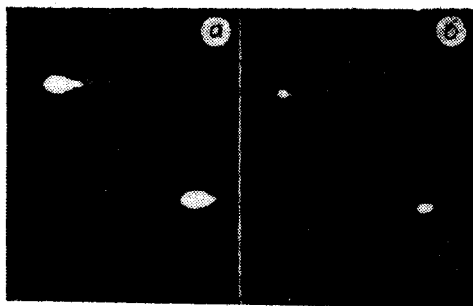


Рис. 3.



Рис. 4.

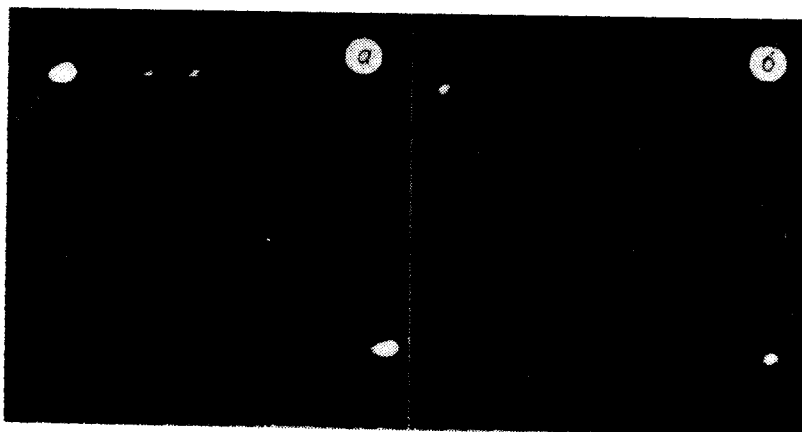
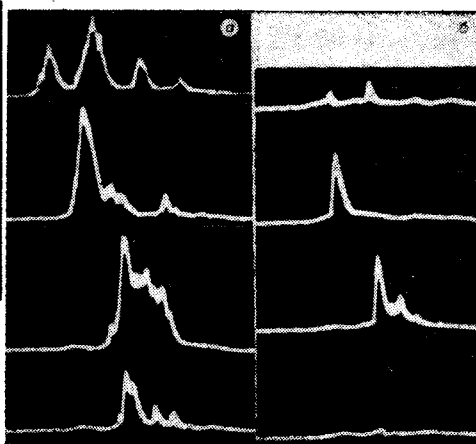


Рис. 5.

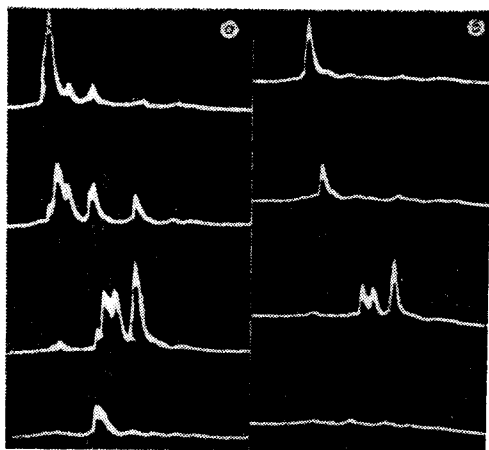


Рис. 6.

фокусное расстояние выбиралось так, чтобы апертура вынужденного излучения в плоском пучке превышала размеры входного изображения. Вращающийся клин 3 выполнял функции дефлектора для создания переменной во времени фазы излучения. Объектив 4 был предназначен для выполнения прямого преобразования Фурье, а объектив 7 — обратного преобразования Фурье. Их фокусные расстояния подбирались таким образом, чтобы обеспечить необходимое уменьшение между входной и выходной плоскостями коррелятора.

В данной работе использована матрица из 4×4 тестовых изображений $f_{ij}(r)$, что и в [4]. На голографическом фильтре регистрировалась с пространственно-распределенной случайной фазой передаточная функция коррелятора $\mathcal{F}[h(r)e^{i\varphi(r)}]$, где в качестве импульсного отклика $h(r)$ были выбра-

ны $f_{21}(r) = f_{32}(r)$ и $f_{11}(r) = f_{33}(r)$. При записи голограмм источником света служил гелий-неоновый лазер. Поскольку при считывании полупроводниковым лазером происходило изменение масштаба восстановленного изображения, местоположение транспаранта 5 выбиралось таким образом, чтобы компенсировать различные масштабы пространственных спектров РИ и ЭИ. Световое распределение в корреляционной плоскости устройства выводилось на монитор. На рис. 3, а, б приведены корреляционные функции для $h(r) = f_{21}(r)$ при различных уровнях порога видикона. С помощью бло-

ка выделения телевизионной строки получены осциллограммы распределения интенсивности корреляционного поля, которые показаны на рис. 4, а, б для тех же значений порогов, что и на рис. 3. Отметим, что строки сканирования проходили через условные центры матрицы входных изображений. Аналогично на рис. 5, а, б; 6, а, б представлены экспериментально полученные корреляционные функции того же РИ и ЭИ $h(r) = f_{11}(r)$. Видно, что в обоих случаях обеспечивается достоверное распознавание тестовых изображений.

При использовании полупроводниковых лазеров в голографических корреляторах возникают некоторые трудности из-за неоднородности поля излучения, структура которого различна для каждого конкретного прибора. Поэтому для создания равномерной освещенности распознаваемых изображений необходимо выделять входным зрачком оптической системы однородную часть поля излучения.

Таким образом, результаты работы свидетельствуют о возможности эффективного применения в голографических корреляторах полупроводникового лазера ИЛПН-2к. Проведенные исследования его характеристик позволили выбрать тип коррелятора, наиболее адекватный такому источнику света. Создан экспериментальный образец ГКИ, в котором обеспечена повторяемость результатов корреляции и достоверность распознавания тестовых изображений. Следовательно, на основе проведенной работы можно сделать вывод о целесообразности использования полупроводниковых лазеров при распознавании изображений в голографических корреляторах интенсивности с усреднением результирующего светового распределения.

Авторы благодарны Л. А. Гибиной, Ю. В. Матыко, А. П. Шамову, Ю. А. Щепеткин и И. Ш. Штейнбергу за помощь в работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chavel P., Lowenthal S. A method of incoherent optical-image processing using synthetic holograms.— JOSA, 1976, vol. 66, p. 14.
2. Potaturkin O. I., Nezhevenko E. S., Khotzkin V. I. Coherent intensity correlator.— J. Opt., 1980, vol. 11, p. 305.
3. Елисеев П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров.— М.: Наука, 1983.
4. Гибина Л. А. и др. Опико-электронная система с оперативным вводом и предварительной обработкой распознаваемых изображений.— Автометрия, 1984, № 2.

Поступило в редакцию 22 сентября 1983 г.

УДК 681.327.83 : 778.38

В. К. ЕРОХОВЕЦ
(Минск)

СПОСОБ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ МИКРОГОЛОГРАММ С ФОРМИРОВАНИЕМ ДВУХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

Известно, что яркость воспроизводимого изображения, информационная емкость и быстродействие голографической памяти определяются дифракционной эффективностью микроголограмм η . Для ее повышения предложен ряд усовершенствований, к наиболее распространенным из которых следует отнести методы отбеливания, дефокусировки и случайной фазовой маски [1, 2]. Однако применение перечисленных методов не позволяет достичь стабильной дифракционной эффективности фурье-микроголограмм выше 10–15%.

В данном сообщении рассматривается способ последовательного воспроизведения микроголограмм [3], в определенной степени свободный от указанного недостатка.

Суть предлагаемого способа заключается в использовании энергии пучка нулевого порядка для воспроизведения этой же или любых других микроголограмм. Примером реализации такого способа с формированием двух информационных каналов является представленная на рис. 1 схема, в которой из пучка света нулевого порядка формируется сопряженный (относительно считывающего) пучок света. Предполагается, что зеркало Z_1 установлено за микроголограммой (МГ) перпендикулярно пучку света нулевого порядка и отъюстировано относительно выходного зеркала Z_2 лазера (Л). Образуется трехзеркальная лазерная система, состоящая из зеркал лазера Z_2 и Z_3 , между которыми находится активный элемент (АЭ), и пассивного резонатора, включающего в себя выходное зеркало Z_2 лазера, микроголограмму и зеркало Z_1 .

Пучок света при выходе из резонатора лазера поступает в пассивный резонатор, в котором испытывает бесконечное число отражений от зеркал Z_1 и Z_2 , и при дифракции на «толстой» микроголограмме позволяет получить два информационных выхода. Масштаб воспроизводимых изображений на рис. 1 условен и определяется параметрами оптических схем объектного канала при записи микроголограмм и информационных каналов при их воспроизведении. Каждый раз при i -м прохождении волново-