

ПРИКЛАДНАЯ ГОЛОГРАФИЯ

лекция №5

лектор: О.В. Андреева

Типы голограмм в зависимости от характеристик:

- схемы регистрации;
- соотношения между толщиной голограммы и периодом интерференционной картины;

Типы голограмм в зависимости от характеристик:

- оптический параметр среды, модуляция которого пропорциональна распределению интенсивности в регистрируемой интерференционной картине;
- характер изменения параметров регистрирующей среды при записи – обратимый (динамические) и необратимый (статические голограммы).

Терминология

- *Экспозиция*
- *Экспозиционная зависимость*

- *Линейный режим записи голограммы*
- *Нелинейный режим записи голограммы*
- *Амплитудная голограмма*
- *Фазовая голограмма*

- *Динамические голограммы*
- *Статические голограммы*

Экспозиционные характеристики

- **Экспозиция** (H) – количество энергии излучения, приходящееся на единицу площади освещаемого участка - произведение энергетической освещенности (E) на длительность облучения (t).
- **Динамический диапазон** регистрирующей среды характеризует интервал экспозиций, в пределах которого возможна линейная запись
- **Экспозиционная кривая** – зависимость какого-либо параметра от экспозиции

Линейность записи голограммы

- ***Линейный режим записи голограммы*** обеспечивается в том случае, если амплитуда модуляции оптического параметра в голограмме прямо пропорциональна воздействующей экспозиции.
- ***Нелинейный режим записи голограммы*** обусловлен нарушением прямой пропорциональности между указанными величинами и приводит к отклонению от линейной зависимости между ними.

Типы голограмм в зависимости от характера изменения параметров регистрирующей среды при записи:

- Динамические голограммы – реверсивная запись (обратимая);
- Статические голограммы – необратимая запись.

Статическая голограмма

голограмма, оптические параметры которой после ее получения не изменяются во времени.

Процесс получения состоит из двух этапов:

1 - регистрация голограммы, во время которой не происходит заметных изменений оптических параметров регистрирующей среды, а образуется так называемое скрытое изображение;

2 - постэкспозиционная обработка голограмм, которая включает в себя различные химические и физические процессы, усиливающие (преобразующие) скрытое изображение и фиксирующие голограмму.

Регистрирующая среда со скрытым изображением

Изменения параметров регистрирующей среды, происходящие под воздействием излучения непосредственно в процессе записи информации, являются незначительными и проявляются в результате дополнительной обработки среды после экспонирования (в процессе постэкспозиционной обработки).

Регистрирующие среды со скрытым изображением обладают, как правило, значительно более высокой чувствительностью, так как при постэкспозиционной обработке скрытое изображение многократно усиливается.

Амплитудная голограмма

голограмма, дифракция излучения на которой обусловлена изменением коэффициента поглощения среды

Максимальная дифракционная эффективность амплитудной голограммы

	Двумерная	Трёхмерная	
Тип решетки	Пропускающая	Пропускающая	Отражательная
Синусоидальная	6,25%	3,7%	7,2%
Прямоугольная	10%	25%	60%

Прохождение плоской монохроматической волны через среду толщиной T

- $E = E_0 \cdot \cos(\omega t - kz) = E_0 \cdot \cos(\omega t - \varphi) =$
 $= \text{Re } E_0 \cdot e^{i\omega t} \cdot e^{-ikz}$

- $\varphi = kz = \frac{2\pi}{\lambda} z$

- При прохождении плоской волны, распространяющейся в направлении « Z », на расстояние T между точками z_1 и z_2 , изменение ее амплитуды можно представить:

$$\frac{E_2}{E_1} = e^{-\alpha T} \cdot e^{-ikT}$$

Амплитудная голограмма

При работе с поглощающими средами используют следующую терминологию:

- α – амплитудный коэффициент поглощения;
- t – амплитудное пропускание (не путать с обозначением времени!)
- $t = e^{-\alpha L}$
- τ – пропускание по интенсивности
- $\tau = t^2 = e^{-2\alpha L}$

Амплитудная голограмма

Коэффициент поглощения по интенсивности – γ

$$\gamma = 2\alpha$$

Оптическая плотность излучения – D
десятичный логарифм величины, обратной
коэффициенту пропускания (по интенсивности):

$$D = -\lg \tau = 2\alpha T \cdot \lg e = 2\alpha T \cdot 0,43$$

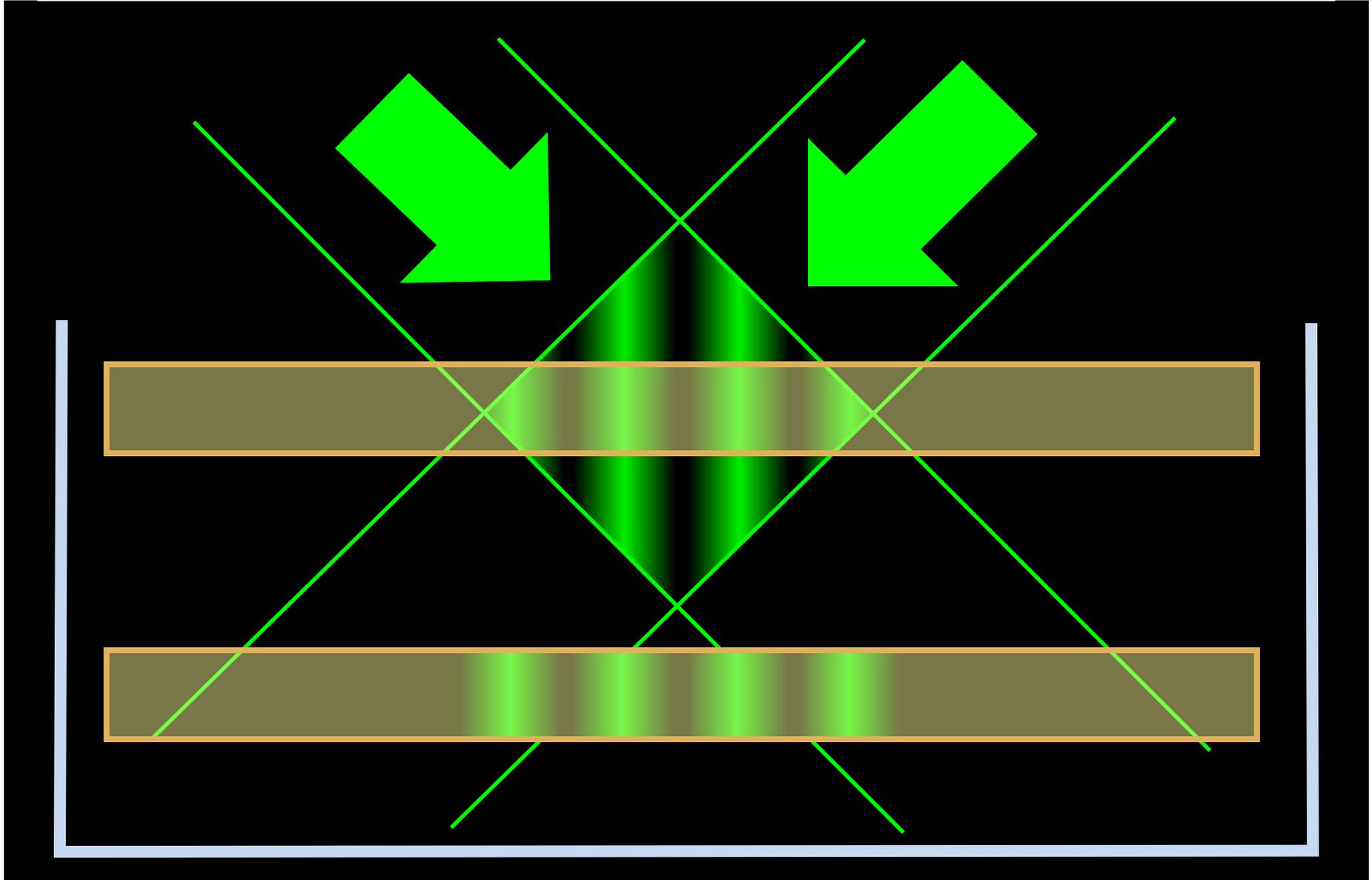
Амплитудная голограмма

При рассмотрении амплитудной голограммы-решетки, полученной в линейном режиме записи, изменение амплитудного коэффициента поглощения в направлении вектора решетки (оси x) будет определяться следующим выражением:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{d}\right)$$

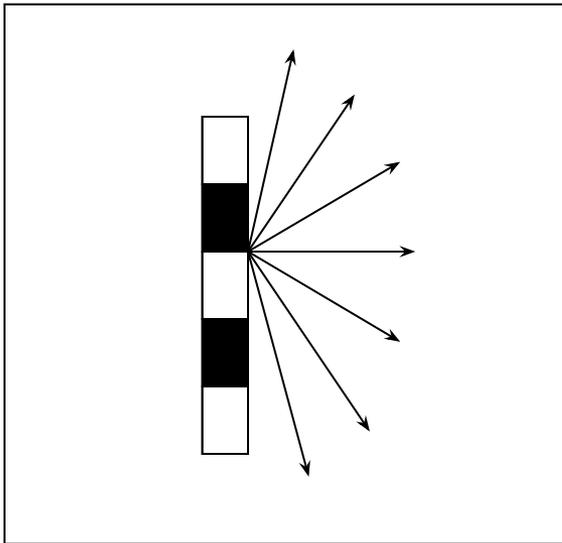
где α_0 – среднее значение показателя поглощения; α_1 – амплитуда изменения коэффициента поглощения; d – период решетки. Величина α_1 определяет эффективность голограммы и зависит от условий получения голограммы и параметров регистрирующей среды.

Амплитудная голограмма

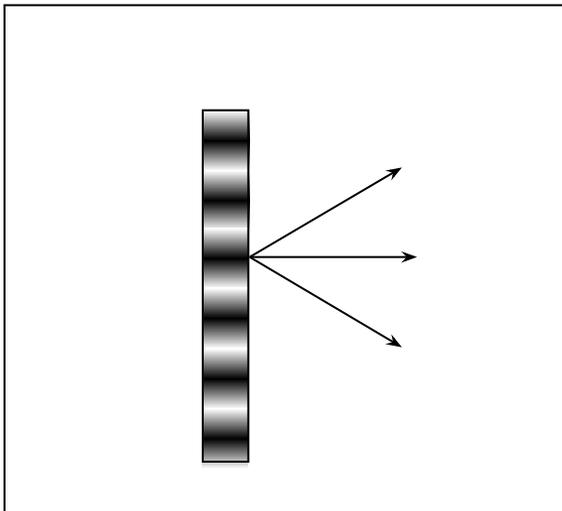


Особенности использования амплитудных голограмм

- Низкая эффективность
- Используют при необходимости воспроизведения объектной волны с минимальными искажениями.
- Уникальной особенностью является эффект просветления трехмерных амплитудных голограмм (эффект Бормана).



дифракция излучения на классической
нарезной решетке (прямоугольный
профиль штриха)



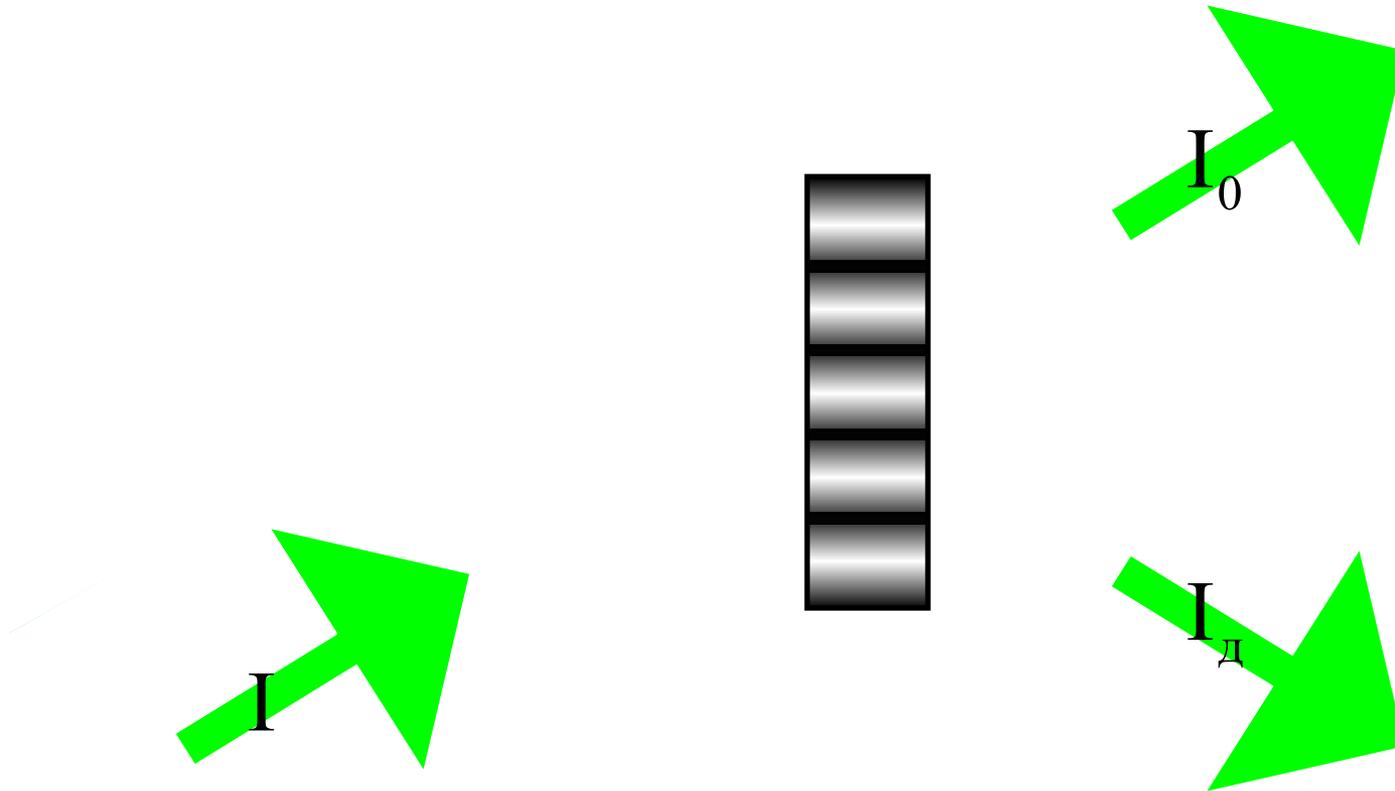
Двумерная голограмма-решетка
дифракция излучения на
голограмме-решетке, полученной в
линейном режиме записи

Эффект Бормана –

эффект просветления трехмерных амплитудных голограмм

- заключается в том, что суммарная интенсивность волн, прошедших голограмму при ее освещении в условиях Брэгга, может существенно превышать интенсивность прошедшей через голограмму волны при ее освещении вне условий Брэгга.
- возникает за счет того, что существующие одновременно восстанавливающая и дифрагированная волны формируют стоячую волну, максимумы которой совпадают с минимумами амплитудной голограммы, что приводит к уменьшению результирующего поглощения голограммы.

Статическая амплитудная голограмма



Фазовая голограмма

- Фазовая голограмма – голограмма, дифракция излучения на которой обусловлена изменением показателя преломления среды, либо изменением толщины среды (рельефнофазовая голограмма).
- Максимальная дифракционная эффективность фазовой голограммы-решетки:
Двумерная - 33% Трёхмерная -100%

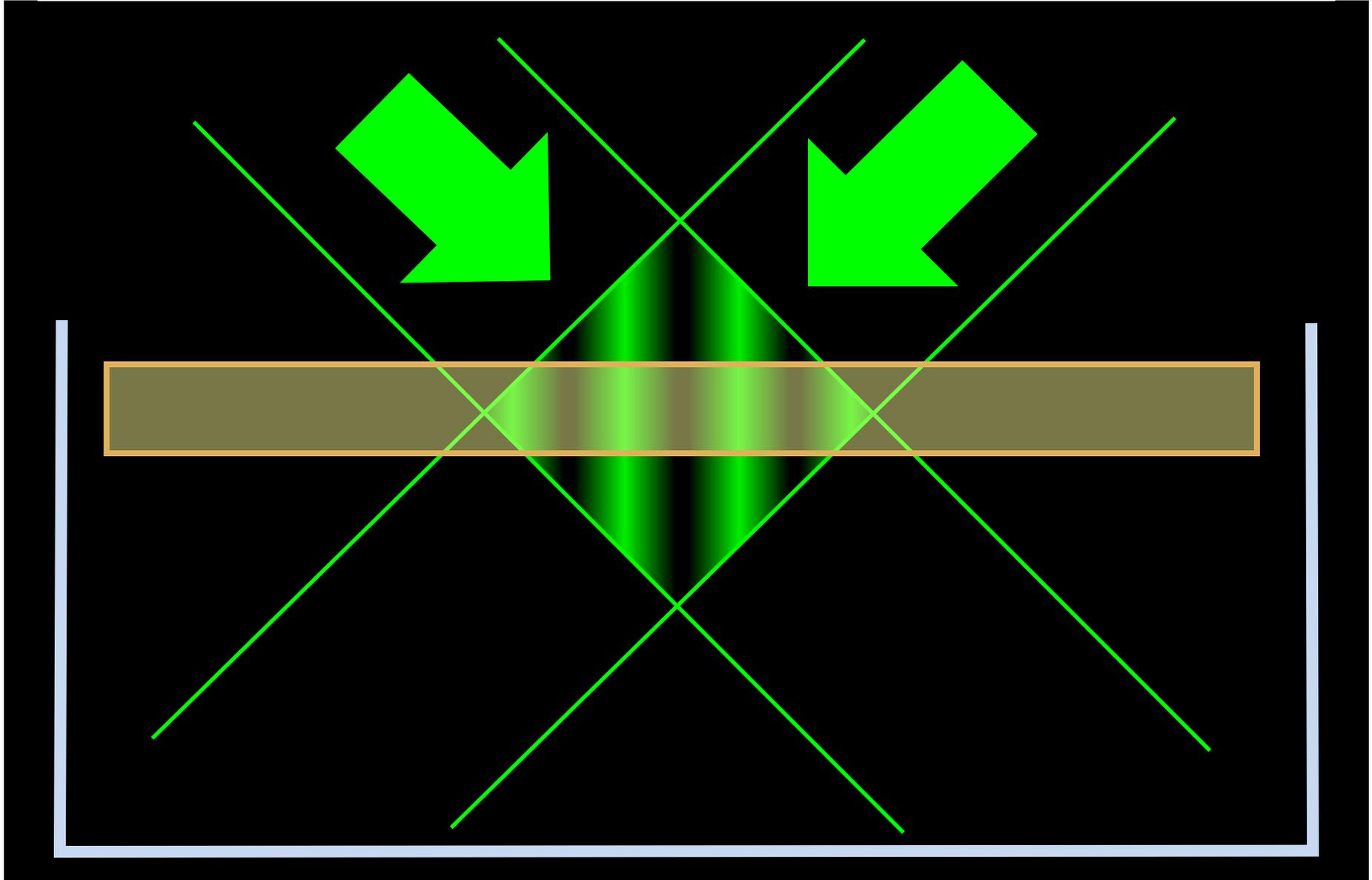
Фазовая голограмма

При рассмотрении фазовой голограммы-решетки, полученной в линейном режиме записи, изменение амплитудного коэффициента поглощения в направлении вектора решетки будет определяться следующим выражением:

$$n = n_0 + n_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{d}\right)$$

где n_0 – среднее значение показателя преломления;
 n_1 – амплитуда изменения показателя преломления;
 d – период решетки. Величина n_1 определяет эффективность голограммы и зависит от условий получения голограммы и параметров регистрирующей среды.

Фазовая голограмма



Фазовая голограмма

Фоторефрактивные регистрирующие среды –

светочувствительные среды (или светочувствительные материалы), в которых распределение интенсивности излучения в регистрируемом световом поле преобразуется в распределение изменения показателя преломления среды.

Рельефно-фазовые голограммы

Используют для получения радужных голограмм (голограмм Бентона) методом тиснения.

Рельефографические материалы – фоторезисты, бихромированная желатина и т.п.

Применяют способы обработки с травлением, дублированием и т.п.

Статическая голограмма

голограмма, оптические параметры которой после ее получения не изменяются во времени.

Процесс получения состоит из двух этапов:

1 - регистрация голограммы, во время которой не происходит заметных изменений оптических параметров регистрирующей среды, а образуется так называемое скрытое изображение;

2 - постэкспозиционная обработка голограмм, которая включает в себя различные химические и физические процессы, усиливающие (преобразующие) скрытое изображение и фиксирующие голограмму.

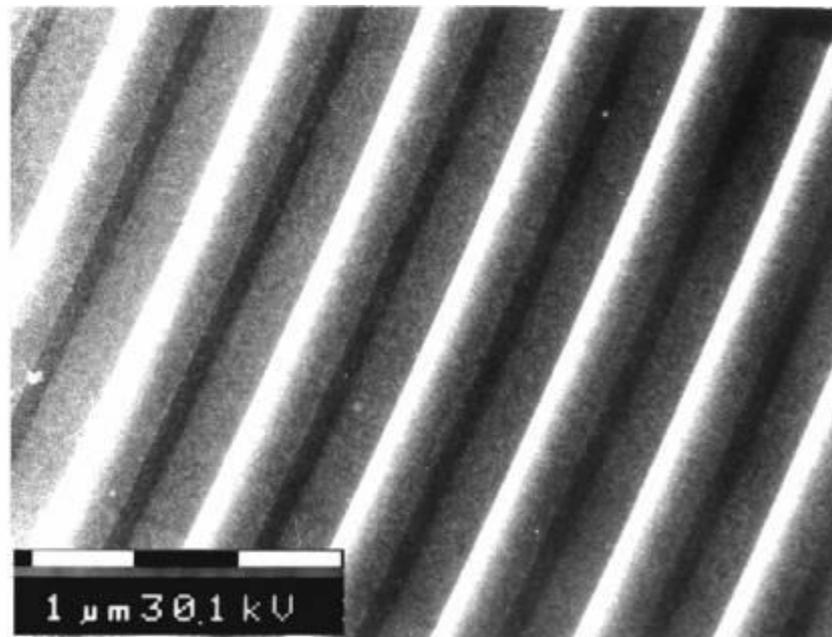
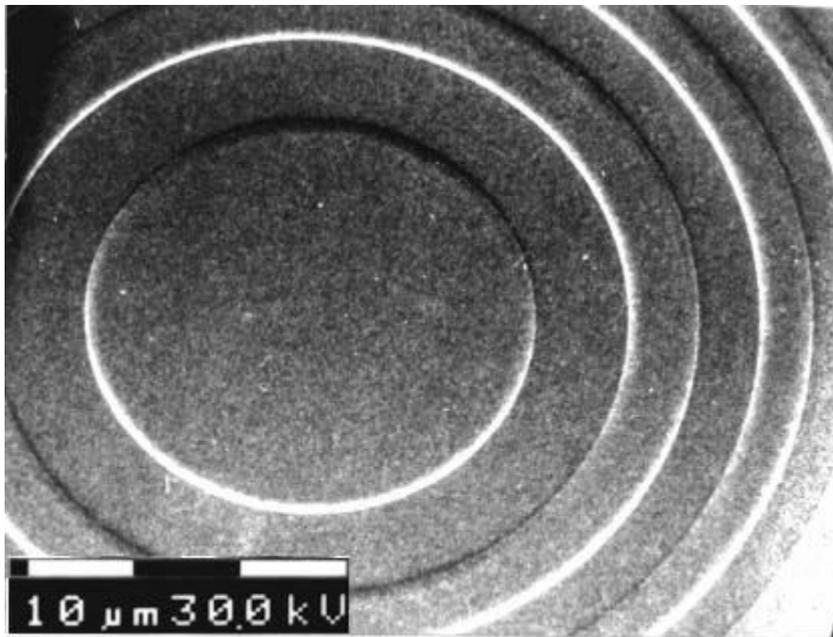
Особенности статических голограмм

- ☺ Возможность получения голограмм при низкой интенсивности интерферирующих пучков;
- ☺ Длительная сохраняемость информации (длительный срок эксплуатации голограмм);
- ☹ Возможность только однократного использования регистрирующей среды;
- ☺ Широкий спектр научно-технических применений.

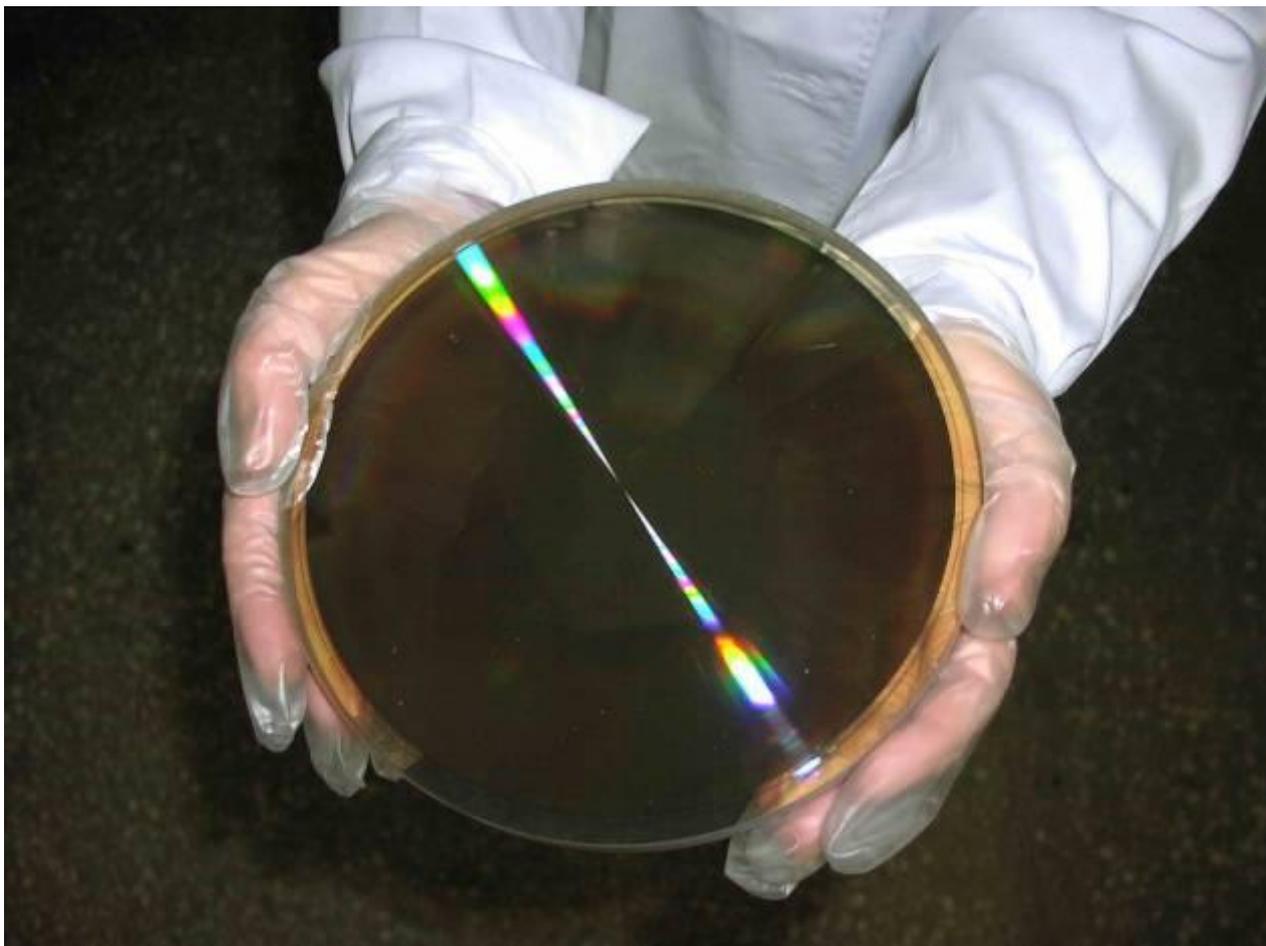
Применения

статических голограмм

Голограммные оптические элементы



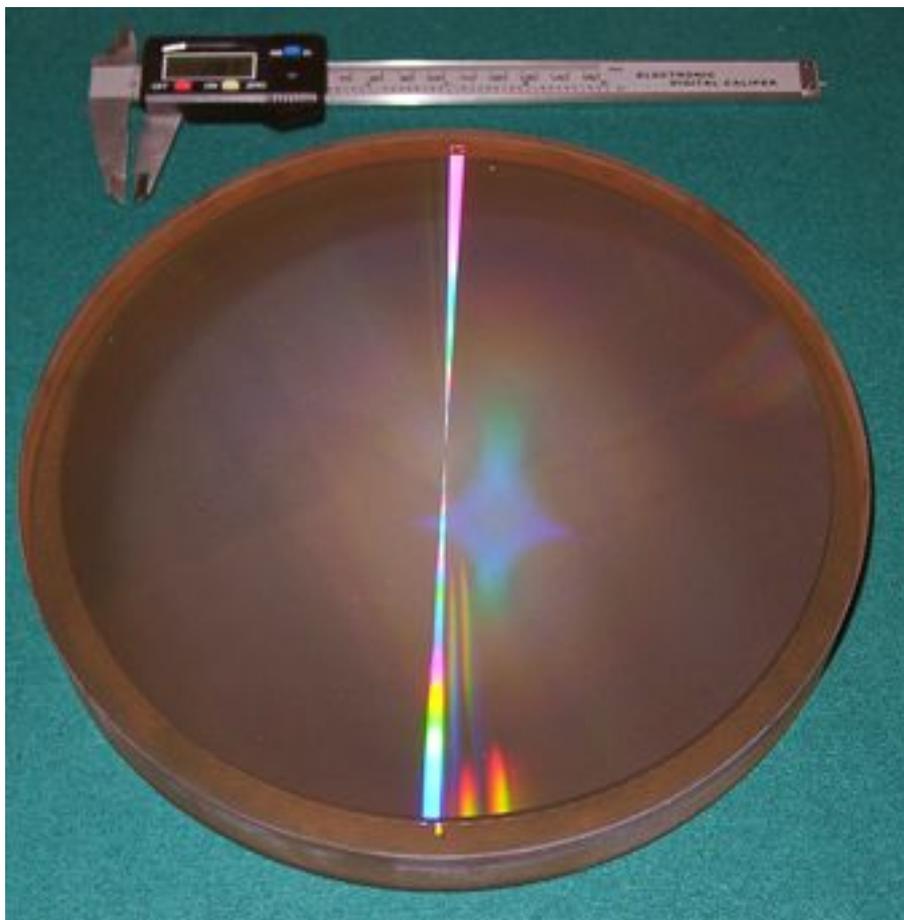
Голограммные оптические элементы



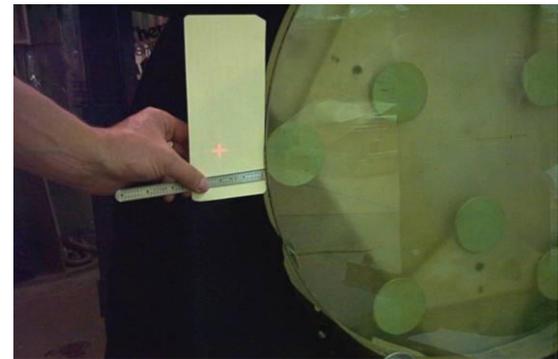
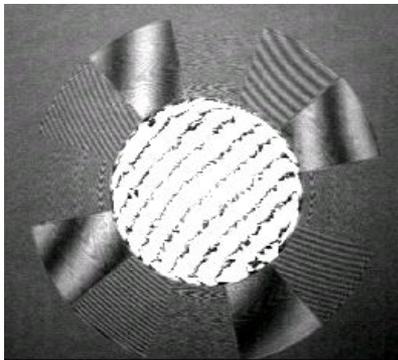
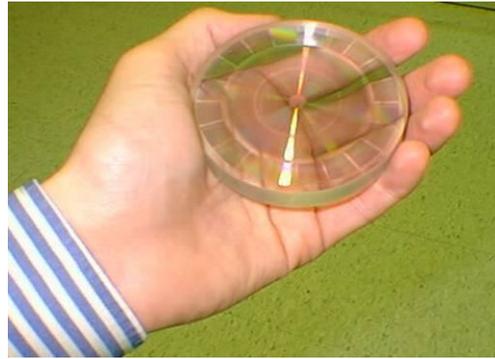
Оптические схемы контроля



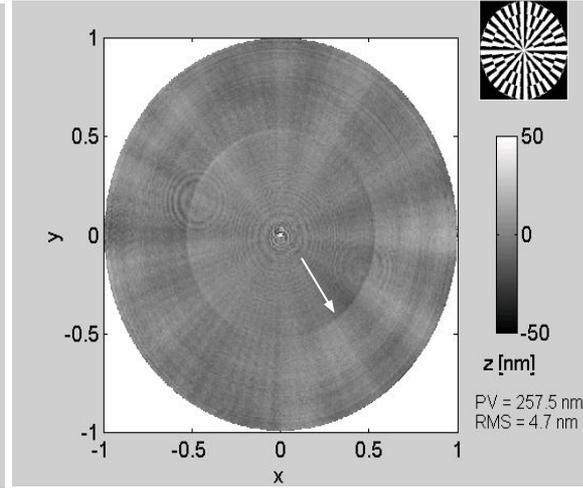
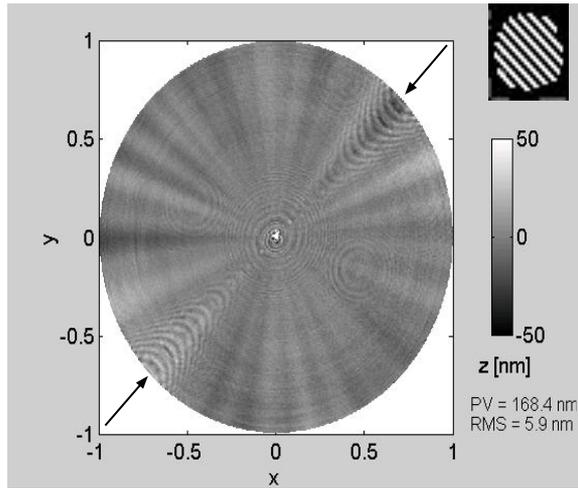
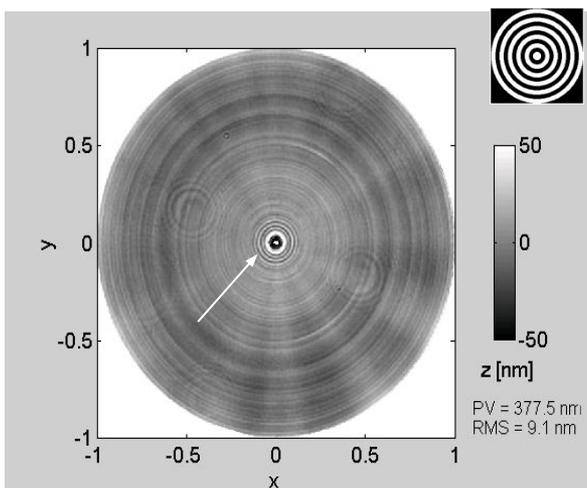
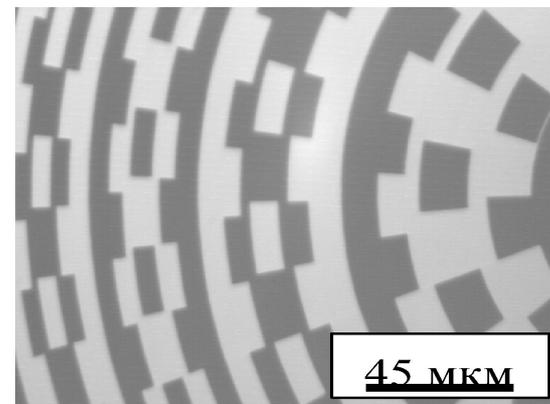
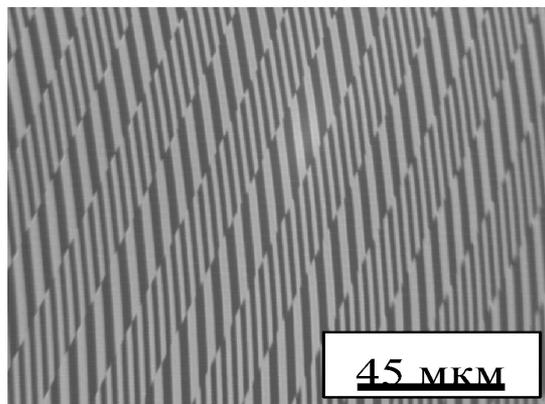
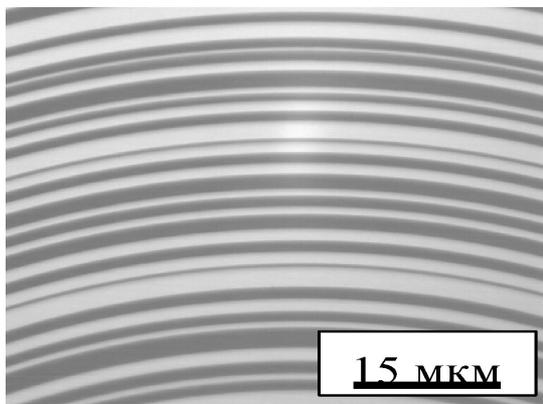
Голограмма-имитатор для контроля зеркала диаметром 8.4 м



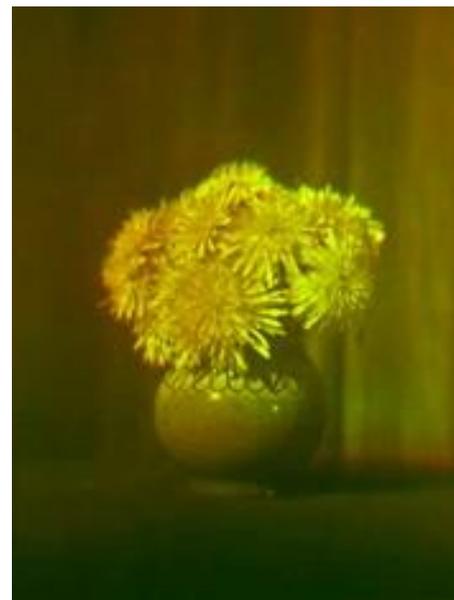
Дифракционные оптические элементы



Микрофотографии поверхности изготовленных комбинированных ДОЭ в виде (а) концентрических колец, (б) периодических полос, (в) кольцевых секторов и карты ошибок волнового фронта



Примеры изобразительных голограмм



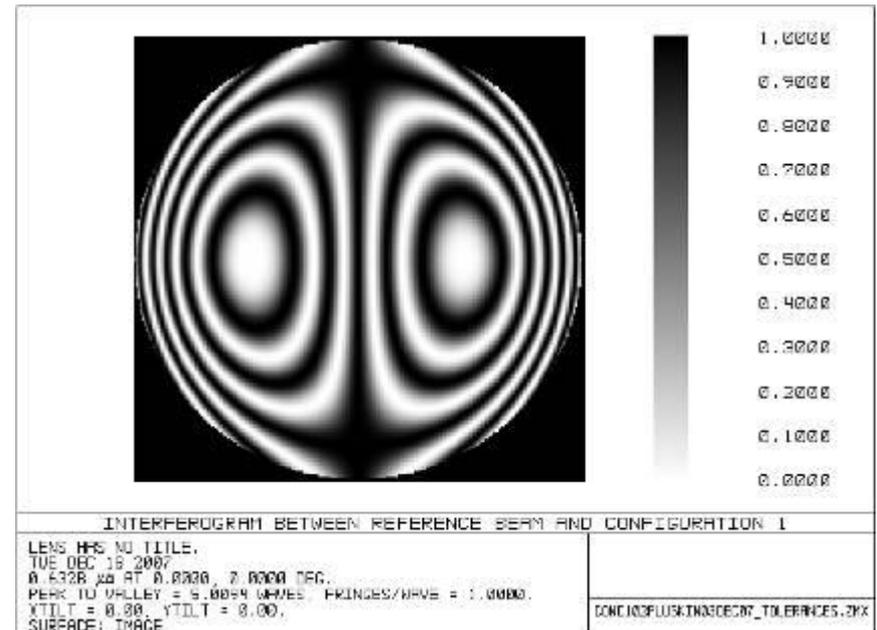
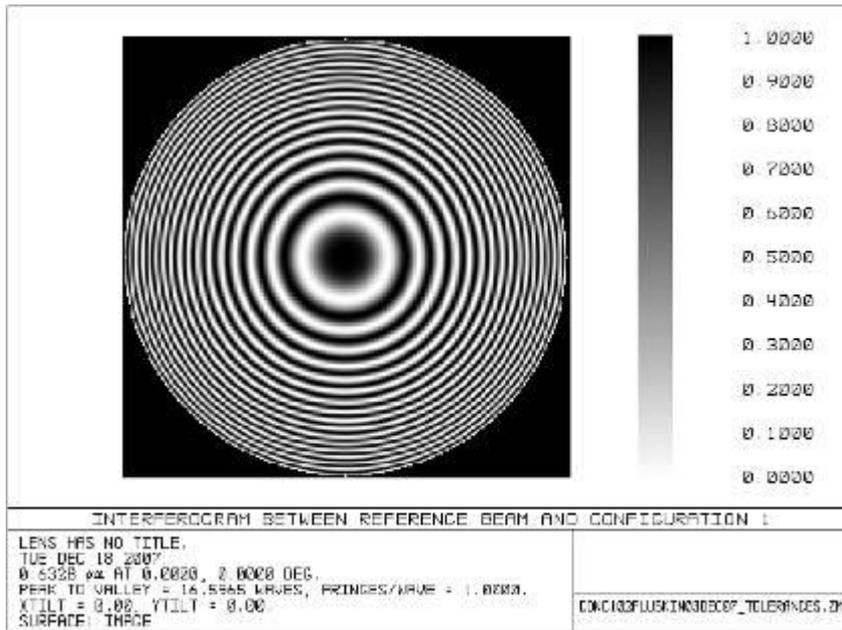
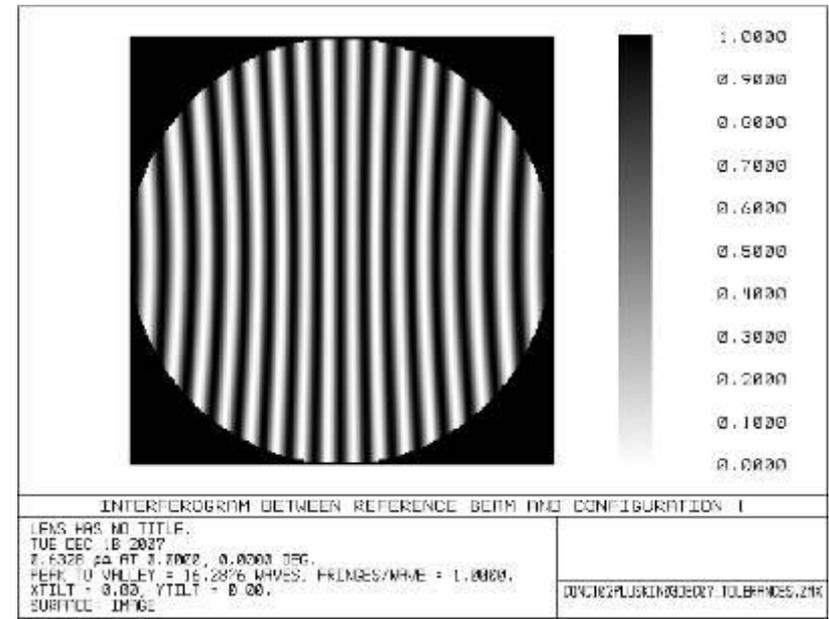
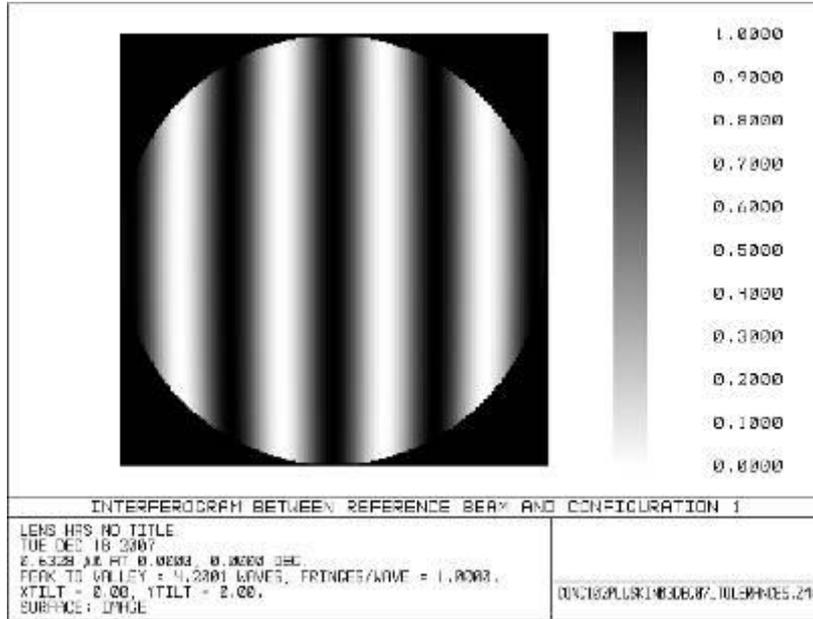
Восстановление изображения объекта в белом свете – игра бликов, эффект оглядывания



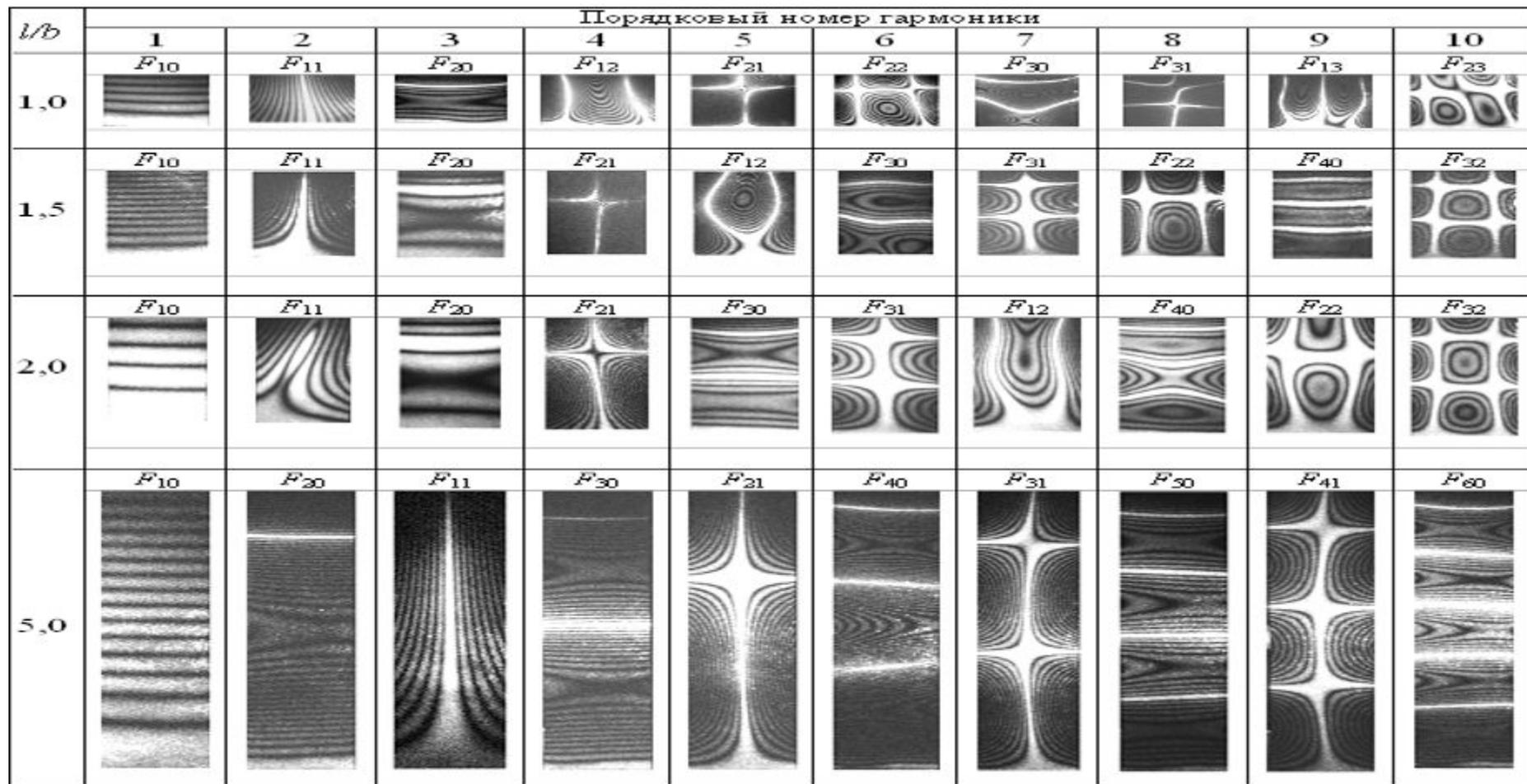
Цветные изобразительные голограммы – игра бликов, эффект оглядывания, передача цвета



Голографическая интерферометрия







Голографические интерферограммы первых 10 форм колебаний пластин с соотношением длины и ширины l/b , равным 1; 1,5; 2; 5

<i>b</i>	<i>l</i>				
	0	1	2	3	4
1	F_{10} 1 $f = 96 \Gamma_{\Pi}$	F_{11} 2 $f = 331 \Gamma_{\Pi}$	F_{12} 5 $f = 1773 \Gamma_{\Pi}$	F_{13} 12 $f = 4439 \Gamma_{\Pi}$	F_{14} 20 $f = 8567 \Gamma_{\Pi}$
	F_{20} 3 $f = 607 \Gamma_{\Pi}$	F_{21} 4 $f = 1105 \Gamma_{\Pi}$	F_{22} 8 $f = 2537 \Gamma_{\Pi}$	F_{23} 13 $f = 5173 \Gamma_{\Pi}$	F_{24} 21 $f = 9227 \Gamma_{\Pi}$
3	F_{30} 6 $f = 1800 \Gamma_{\Pi}$	F_{31} 7 $f = 2281 \Gamma_{\Pi}$	F_{32} 10 $f = 3875 \Gamma_{\Pi}$	F_{33} 17 $f = 6559 \Gamma_{\Pi}$	F_{34} 22 $f = 10422 \Gamma_{\Pi}$
	F_{40} 9 $f = 3341 \Gamma_{\Pi}$	F_{41} 11 $f = 3929 \Gamma_{\Pi}$	F_{42} 15 $f = 5710 \Gamma_{\Pi}$	F_{43} 19 $f = 8415 \Gamma_{\Pi}$	F_{44} 24 $f = 12430 \Gamma_{\Pi}$
5	F_{50} 14 $f = 5578 \Gamma_{\Pi}$	F_{51} 16 $f = 6134 \Gamma_{\Pi}$	F_{52} 18 $f = 7909 \Gamma_{\Pi}$	F_{53} 23 $f = 10993 \Gamma_{\Pi}$	F_{54} 25 $f = 14815 \Gamma_{\Pi}$

Защитная голография



В современном мире в качестве способа защиты от подделок широко используется голография.

Плюсы:

- Голограмма содержит в себе сложную структуру, недоступную к повторению любыми современными средствами печати.
- Возможность визуально установить подлинность продукции.
- Получить голограммы можно только на специальном оборудовании.
- Невозможность наладить кустарный выпуск.



Минусы:

Относительно дорогая стоимость оборудования для серийного производства



Голографическая упаковка



Типы голограмм в зависимости от характера изменения параметров регистрирующей среды при записи:

- Динамические голограммы – реверсивная запись (обратимая);
- Статические голограммы – необратимая запись.

Динамическая голограмма

голограмма, регистрируемая в среде, оптические параметры которой изменяются под действием формирующей голограмму излучения, что приводит к дифракции излучения на голограмме в процессе ее регистрации (самодифракции), к изменению характеристик записывающих волн и к появлению новых волн.

Считывание производится во время регистрации голограммы одной из формирующих ее волн.

Стадии формирования и считывания неразрывно связаны, а процесс запись-считывание является **одновременным**.

- *стационарный режим;*
- *нестационарный режим;*
- *нестационарный энергообмен.*

Регистрирующая среда динамическая

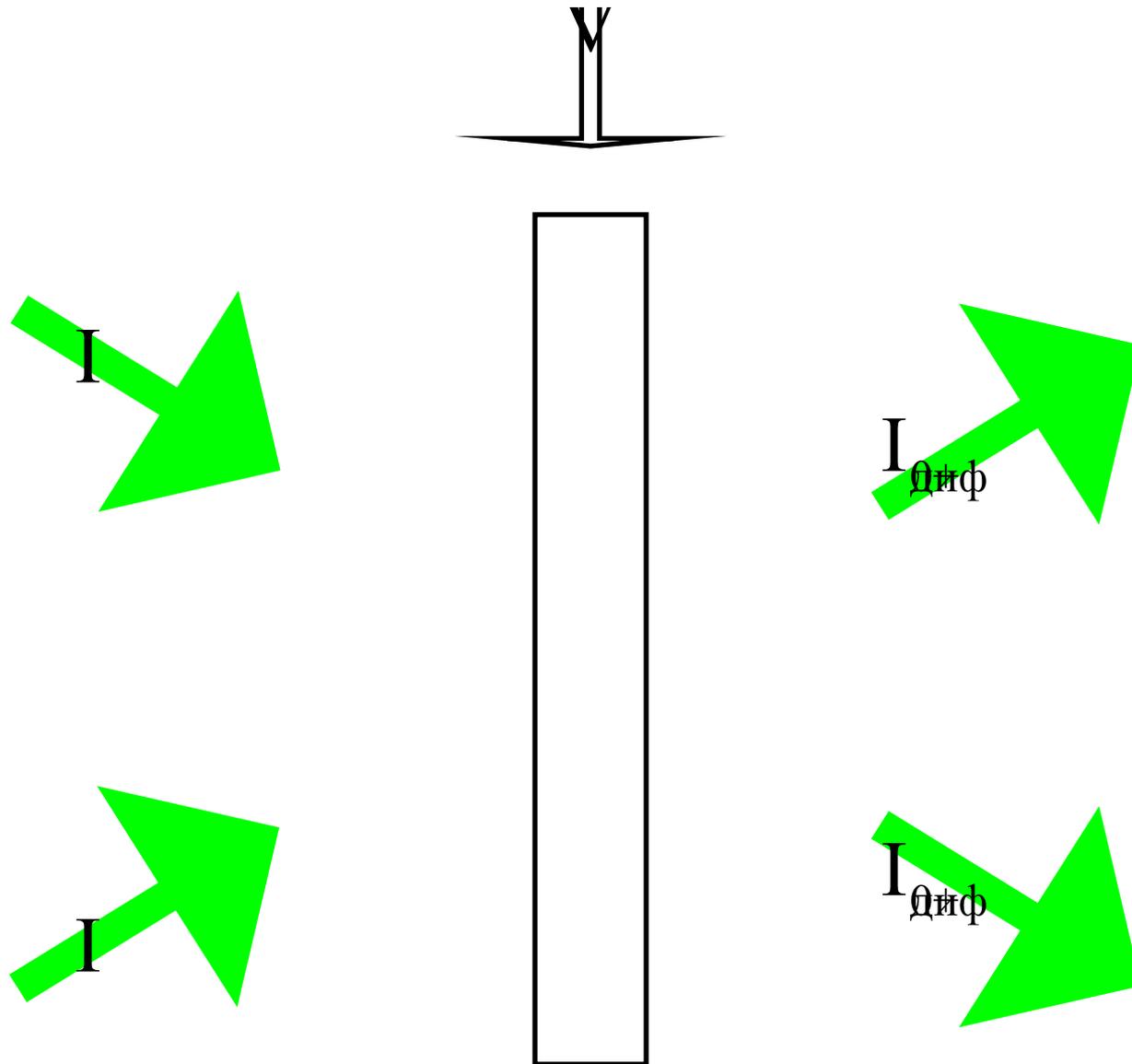
Инициированные световым воздействием изменения параметров регистрирующей среды происходят непосредственно в процессе записи информации (под воздействием излучения).

Различают:

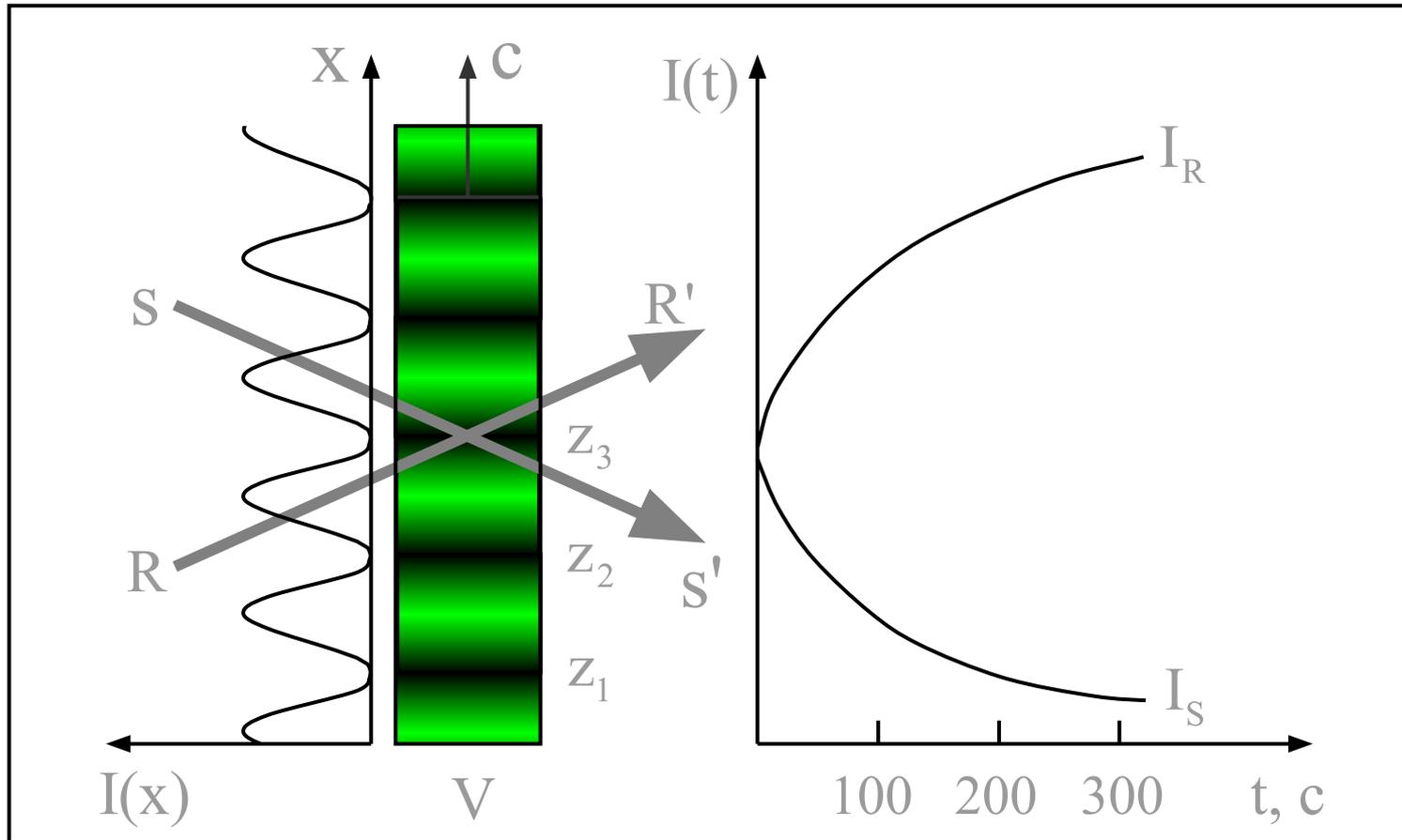
регистрирующая среда динамическая с **нелокальным откликом** – пространственное распределение фотоиндуцированного показателя преломления при записи синусоидальной интерференционной картины сдвинуто по фазе по отношению к распределению интенсивности в регистрируемой интерференционной картине;

регистрирующая среда динамическая с **локальным откликом** – пространственное распределение фотоиндуцированного показателя преломления при записи синусоидальной интерференционной картины синфазно или противофазно распределению интенсивности в регистрируемой интерференционной картине.

Динамическая голограмма



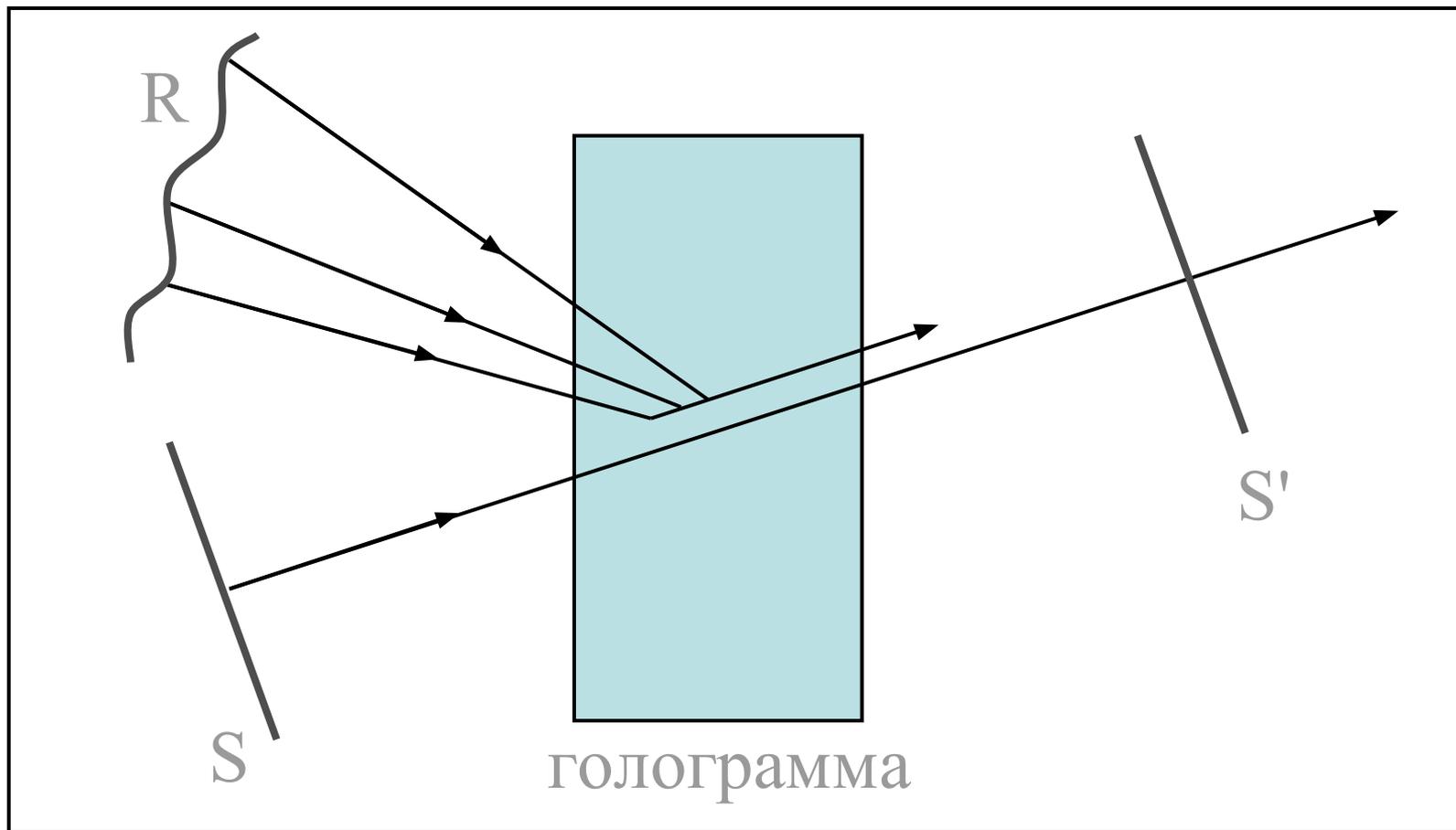
Нестационарный энергообмен



Направленная передача энергии между волнами R и S (интерферирующими в объёме V).

$I(t)$ – зависимость интенсивности выходящих волн (I_S и I_R) от времени экспозиции динамической голограммы.

Коррекция формы волнового фронта с помощью динамической сдвиговой трёхмерной голограммы



- R – Интенсивная неоднородная волна,
- S – слабая волна правильной формы,
- S' – исправленный и усиленный волновой фронт.

Особенности динамических голограмм

- ☺ Решение задач оптической обработки информации в реальном времени;
- ☺ Возможность управлять интенсивностью, формой и направлением распространения волн;
- ☹ Использование нелинейных регистрирующих сред и мощных источников излучения;

Литература к лекции №5

- 1.Денисюк Ю.Н. Принципы голографии. - Л.:ГОИ. - 1978. - 125с.
- 2.Островский Ю.И. Голография и ее применение. - Л.:Наука. - 1973. - 180с.
- 3.Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. - М.: Мир. 1973, - 686с.
- 4.Денисюк Ю.Н. Некоторые проблемы и перспективы голографии в трехмерных средах// В кн.: Оптическая голография. Под ред. Колфилда Г. - М.:Мир. 1982. - т.2.- с.691-729.
- 5.Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.. – Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. – Л.:Наука.1983. - 270с.
- 6.Оптическая голография. Под ред. Колфилда Г. - М.:Мир. 1982. - т.1,т.2.
- 7.Калитеевский Н.И., Волновая оптика – СПб.: Лань, 2006. – 466 с.
- 8. 3D лазерные информационные технологии. Отв ред. Твердохлеб П.Е. – Новосибирск, 2003. -551 с.
- 9.Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В. Прикладная нелинейная оптика. М., Физматгиз, 2004.