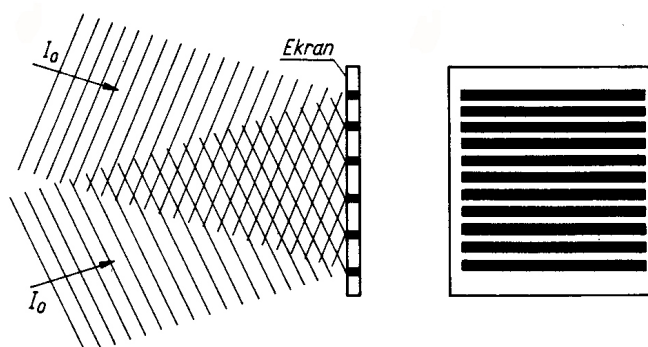
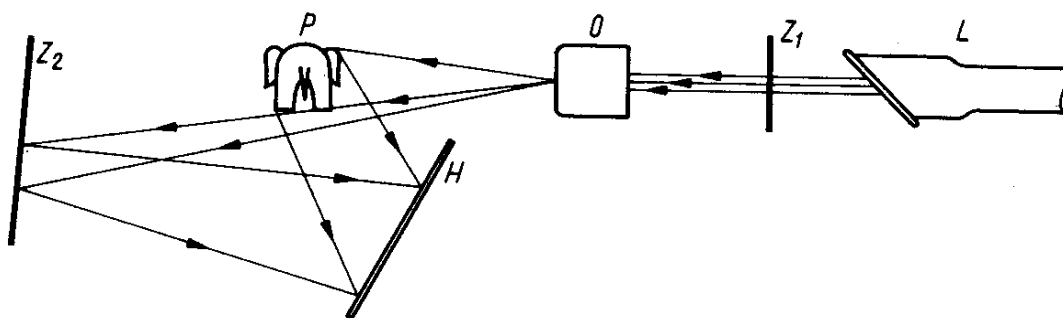


ZASTOSOWANIE LASERÓW W HOLOGRAFII

Holografia - dział optyki zajmujący się technikami uzyskiwania obrazów przestrzennych metodą rekonstrukcji fali (głównie światła, ale też np. fal akustycznych). Przez rekonstrukcję fali rozumie się odtworzenie w pewnym obszarze przestrzeni zarówno jej amplitudy, jak i fazy. Nazwa *holografia* powstała z zestawienia greckich słów *holos* = całość i *grapho* = piszę.

Rejestracja obrazu (uzyskanie hologramu)

Polega na zapisie (np. na kliszy fotograficznej) interferencji fali rozproszonej przez przedmiot z falą nie zaburzoną (tzw. wiązką odniesienia). Fale muszą spełniać warunki zajścia interferencji.



Rejestracja obrazu, cd

Pola elektryczne w płaszczyźnie kliszy (późniejszego hologramu):

a) od fali odniesienia (dla uproszczenia zakładamy, że jest to fala płaska rozchodząca się prostopadle do płaszczyzny kliszy)

$$E_r = E_{0r} \cos(\omega t)$$

b) od fali rozproszonej przez przedmiot

$$E_p(x, y, t) = a(x, y) \cos[\omega t + \varphi(x, y)]$$

x, y - współrzędne w płaszczyźnie kliszy.

Z falą odniesienia i z falą przedmiotową wiążą się odpowiednie średnie gęstości energii

$$\langle \epsilon_r \rangle = K_1 \langle E_r^2 \rangle = K_1 \frac{E_{0r}^2}{2}, \quad \langle \epsilon_p(x, y) \rangle = K_1 \langle E_p^2 \rangle = K_1 \frac{a(x, y)^2}{2}$$

Sumaryczne średnie gęstości energii światła w obszarze kliszy fotograficznej

$$\begin{aligned} \langle \epsilon_w(x, y) \rangle &= \langle \epsilon_r \rangle + \langle \epsilon_p(x, y) \rangle + 2\sqrt{\langle \epsilon_r \rangle \langle \epsilon_p(x, y) \rangle} \cos[\varphi(x, y)] = \\ &= \langle \epsilon_0(x, y) \rangle + K_1 E_{0r} a(x, y) \cos[\varphi(x, y)] \end{aligned}$$

Stopień zaczernienia kliszy hologramu zależy zarówno od amplitudy fali przedmiotowej $a(x, y)$ jak i od jej fazy $\varphi(x, y)$.

Odczytanie hologramu

Polega na oświetleniu go falą spójną (tzw. falą odtwarzającą). Załóżmy, że gęstość energii tej fali w płaszczyźnie hologramu jest

$$\varepsilon' = \varepsilon_0' \cos^2(\omega t)$$

Współczynnik transmisji negatywu

$$T(x, y) = 1 - K_2 \langle \varepsilon_w(x, y) \rangle \quad \langle \varepsilon_w(x, y) \rangle = \langle \varepsilon_0(x, y) \rangle + K_1 E_{0r} a(x, y) \cos[\varphi(x, y)]$$

Gęstość energii fali tuż po przejściu przez negatyw

$$\varepsilon(x, y) = \varepsilon_0' \cos^2(\omega t) [1 - K_2 \langle \varepsilon_w(x, y) \rangle]$$

Pole elektryczne fali tuż po przejściu przez negatyw

$$\begin{aligned} E &= K_3 \cos(\omega t) \sqrt{1 - K_2 \langle \varepsilon_w \rangle} \approx K_3 \cos(\omega t) \left(1 - \frac{K_2}{2} \langle \varepsilon_w \rangle \right) = \\ &= K_3 \cos(\omega t) \left(1 - \frac{K_2}{2} \langle \varepsilon_0(x, y) \rangle - \frac{K_2 K_1}{2} E_{0r} a(x, y) \cos[\varphi(x, y)] \right) = \\ &= K_3 b(x, y) \cos(\omega t) + 2 K_4 a(x, y) \cos(\omega t) \cos[\varphi(x, y)] = \\ &= K_3 b(x, y) \cos(\omega t) + K_4 a(x, y) \cos[\omega t + \varphi(x, y)] + \\ &\quad + K_4 a(x, y) \cos[\omega t - \varphi(x, y)] \end{aligned}$$

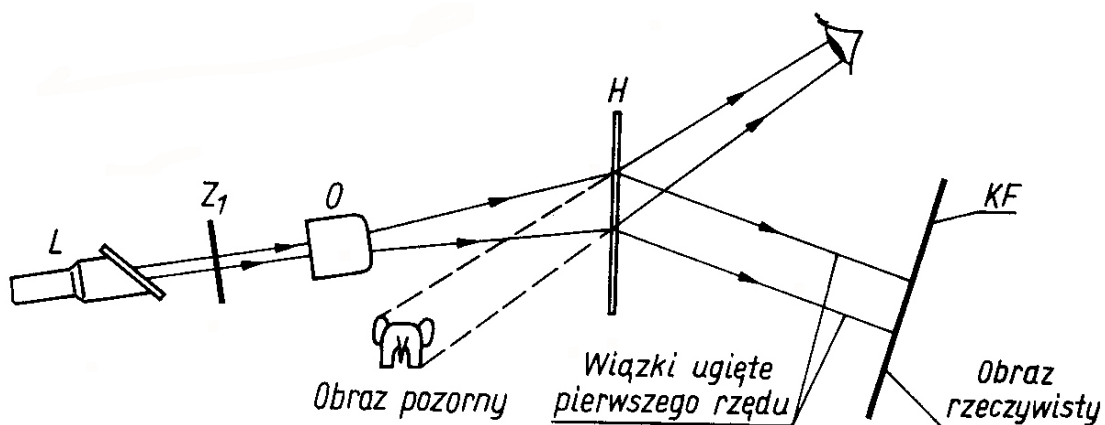
Odczytanie hologramu, cd

Pole elektryczne fali tuż po przejściu przez negatyw

$$E = K_3 b(x,y) \cos(\omega t) + K_4 a(x,y) \cos[\omega t + \varphi(x,y)] \\ + K_4 a(x,y) \cos[\omega t - \varphi(x,y)]$$

$$E \approx K_5 b(x,y) \times \left(\begin{array}{c} \text{wiązka bezpośrednio} \\ \text{z lasera} \end{array} \right) + K_4 \times \left(\begin{array}{c} \text{pierwotne światło} \\ \text{od przedmiotu} \end{array} \right) \\ + K_4 \times \left(\begin{array}{c} \text{światło od przedmiotu} \\ \text{z odwróconą fazą} \end{array} \right)$$

Padająca na hologram fala ulega dyfrakcji na jego treści, interferencja fal ugiętych pierwszego rzędu z falą nie zaburzoną tworzy w przestrzeni dwa obrazy (pozorny i rzeczywisty, tzw. obrazy sprzężone) holografowanego przedmiotu. Fale ugięte wyższych rzędów zaburzają obraz, dąży się do ich wyeliminowania.



Początki holografii

Pierwszy hologram został wykonany przez Dennisa Gabora w 1947 roku przy użyciu odfiltrowanego światła lampy rtęciowej (546 nm) przepuszczonego przez mały otworek (dla zwiększenia spójności). Z powodu zbyt małej spójności zastosowanego światła wyniki nie były zbyt dobre, ale zaobserwowany obraz miał cechy przestrzenności. Za wynalezienie holografii Dennis Gabor otrzymał nagrodę Nobla z fizyki w 1971 roku. Teoretyczne podstawy holografii opracował w 1920 roku polski fizyk Mieczysław Wolfke. Laser w holografii został zastosowany po raz pierwszy przez Leitha i Upatnieksa w 1962 roku (wynaleźli holografię nieosiową).

Typy hologramów

Hologramy absorpcyjne

W tym przypadku informacja holograficzna jest zakodowana w emulsji fotograficznej w postaci zlokalizowanych mikroskopijnych zmian w absorpcji światła, lub w ilości halogenku srebra zamienionego na atomy srebra podczas procesu naświetlania i wywoływania. W hologramach absorpcyjnych wiązka odtwarzająca ulega dyfrakcji na drobnej, na ogół nieregularnej siatce wytworzonej przez obszary o podwyższonej zawartości srebra.

Hologramy fazowe

Powstają przez poddanie hologramów absorpcyjnych procesowi wybielania. Obszary emulsji, z których usunięto atomy srebra charakteryzują się innym współczynnikiem załamania niż obszary, gdzie atomów srebra pierwotnie nie było. W hologramach fazowych wiązka odtwarzająca ulega różnym przesunięciom fazowym na obszarach o różnych współczynnikach załamania.

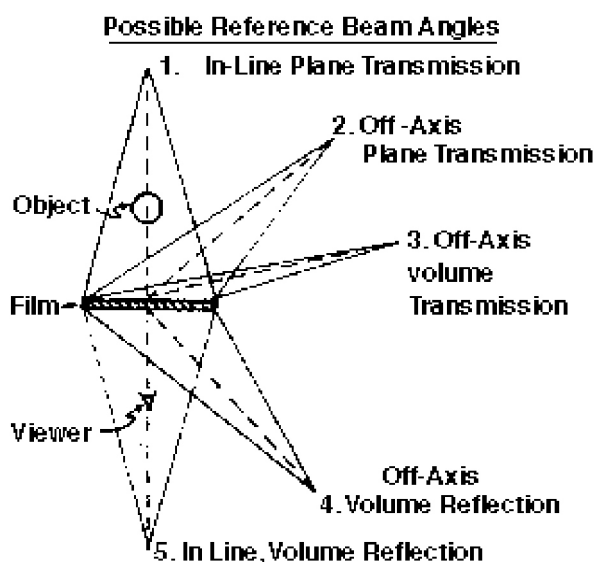
Typy hologramów, cd

Hologramy powierzchniowe (cienkie)

Są to hologramy, dla których kąt między wiązką przedmiotową i wiązką odniesienia nie przekracza 90 stopni. Dla tych kątów typowa grubość emulsji fotograficznej ($\sim 10 \mu\text{m}$) nie ma istotnego wpływu na charakter i odstęp zarejestrowanych prążków interferencyjnych.

Hologramy objętościowe

Są to hologramy, dla których kąt między wiązką przedmiotową i wiązką odniesienia przekracza 90 stopni.



Hologramy transmisyjne

W tym typie hologramów światło odtwarzające musi być spójne albo częściowo spójne i musi przechodzić przez hologram. W świetle białym obserwowane obrazy są nieostre.

Hologramy odbiciowe

Ten typ hologramów może być oglądany w ukierunkowanym świetle białym (projektor, latarka, słońce). W tym przypadku hologram działa jak własny filtr i nie odbija długości fal, które go nie tworzyły.