

ĆWICZENIE 4

Hologram Bentona

1. Wprowadzenie

Ze względu na różne konfiguracje układów do zapisu i odtwarzania hologramów oraz ich zastosowania istnieją różne typy hologramów. Każdy hologram klasyczny zapisywany jest przy użyciu światła spójnego. Niektóre hologramy, takie jak np. hologram Fresnela, muszą być także odtwarzane przy pomocy światła spójnego. Stanowi to pewne ograniczenie, ponieważ do obejrzenia obrazu zapisanego na hologramie potrzebny jest laser lub przynajmniej wskaźnik laserowy.

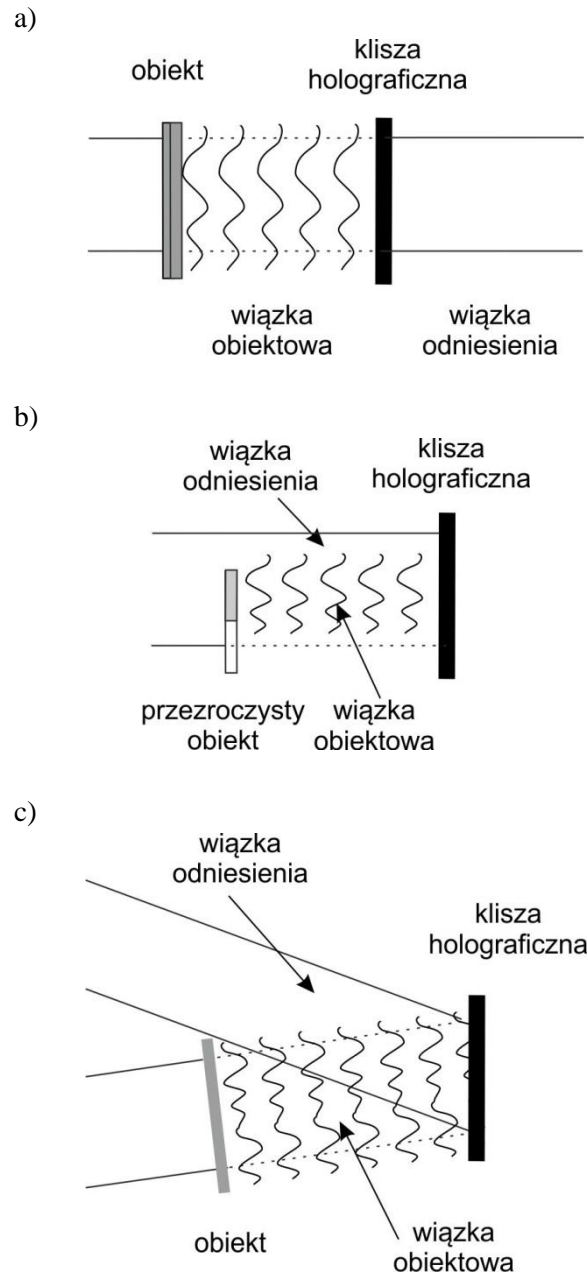
Opracowanie techniki zapisu hologramu, która umożliwia jego odtwarzanie w świetle białym (pojedyncza żarówka, światło słoneczne itp.) wydaje się być bardzo ciekawym i atrakcyjnym osiągnięciem. Okazuje się, że takie techniki istnieją i są znane pod nazwą hologramów grubych (zwanych też objętościowymi) oraz hologramów bentonowskich (zwanych też tęczowymi).

2. Hologramy odtwarzane w świetle białym

Hologramy grube zapisywane są w całej objętości emulsji światłoczułej. Stąd też inna nazwa - hologramy objętościowe. Są one zapisywane w konfiguracji Denisiuka. Na kliszy rejestrowane są zmodulowane powierzchnie w całej objętości emulsji światłoczułej. W tej sytuacji (przy zapisie) wiązka odniesienia pada z przeciwnej strony emulsji niż wiązka przedmiotowa.

W konfiguracji Leitha-Upatnieksa zapisywane są na przykład hologramy Fresnela. Po wywołaniu i utrwaleniu, na powierzchni kliszy są one reprezentowane przez zmodulowane prążki interferencyjne. Natomiast w konfiguracji Gabora można zapisać najprostszy do wykonania i historycznie pierwszy hologram Gabora.

Hologram gruby umożliwia odtwarzanie obrazu w świetle niekoherentnym czasowo. Jest w stanie "wybrać sobie" żądaną długość fali. Zmodulowane powierzchnie w objętości hologramu działają jak filtry interferencyjne. Źródło światła musi mieć jednak dosyć dobrą spójność przestrzenną. Hologramy grube są bardzo dobrze widoczne przy oświetleniu światłem słonecznym lub punktowym źródłem światła (np. włókno żarówki). Umożliwiają również zaobserwowanie efektu paralaksy w poziomie oraz w pionie. W praktyce zapis hologramu grubego wymaga posiadania specjalnych emulsji (z odpowiednio grubą warstwą emulsji światłoczułej) oraz dużej stabilności mechanicznej całego układu.



Rysunek 1. Różne konfiguracje układów do zapisu hologramów: a) konfiguracja Denisiuka, b) konfiguracja Gabora oraz c) konfiguracja Leitha-Upatnieksa

Hologramy Bentona zapisywane są, podobnie jak klasyczne hologramy Fresnela, jedynie na powierzchni emulsji światłoczułej. Reprezentowane są więc na kliszy holograficznej (po wywołaniu i utwaleniu) przez zmodulowane prążki interferencyjne. Nie wymagają więc szczególnych emulsji, czy też wyjątkowej stabilności mechanicznej układu.

Wiadomo, że klasyczny hologram Fresnela jest zmodulowaną siatką dyfrakcyjną. Jak wiemy, siatka dyfrakcyjna oświetlona światłem białym dokonuje rozkładu światła białego na poszczególne długości fali. Hologram Fresnela oświetlony światłem białym odtwarza poprzesuwane obrazy w różnych kolorach i z różnymi powiększeniami. W rezultacie - po odtworzeniu takiego hologramu w świetle białym - w miejscu trójwymiarowego obrazu widzimy “rozmytą, kolorową tęczę”.

Dzięki odpowiedniej konfiguracji zapisu, kosztem rezygnacji ze zjawiska paralaksy w jednym kierunku, możemy zapisać hologram Bentona. Przy dosyć prostej technologii zapisu umożliwia on odtworzenie obrazu w świetle białym.

Hologram Bentona umożliwia odtwarzanie obrazu w świetle niekoherentnym czasowo. Źródło światła musi mieć jednak dosyć dobrą spójność przestrzenną. Hologramy Bentona są bardzo dobrze widoczne przy oświetleniu światłem słonecznym lub punktowym źródłem światła (np. włókno żarówki), ale umożliwiają zaobserwowanie efektu paralaksy jedynie w jednym kierunku (pionie lub poziomie). W prostopadłym kierunku widoczna jest wielobarwna tęcza. Stąd też inna nazwa tego typu hologramu - hologram tęczowy.

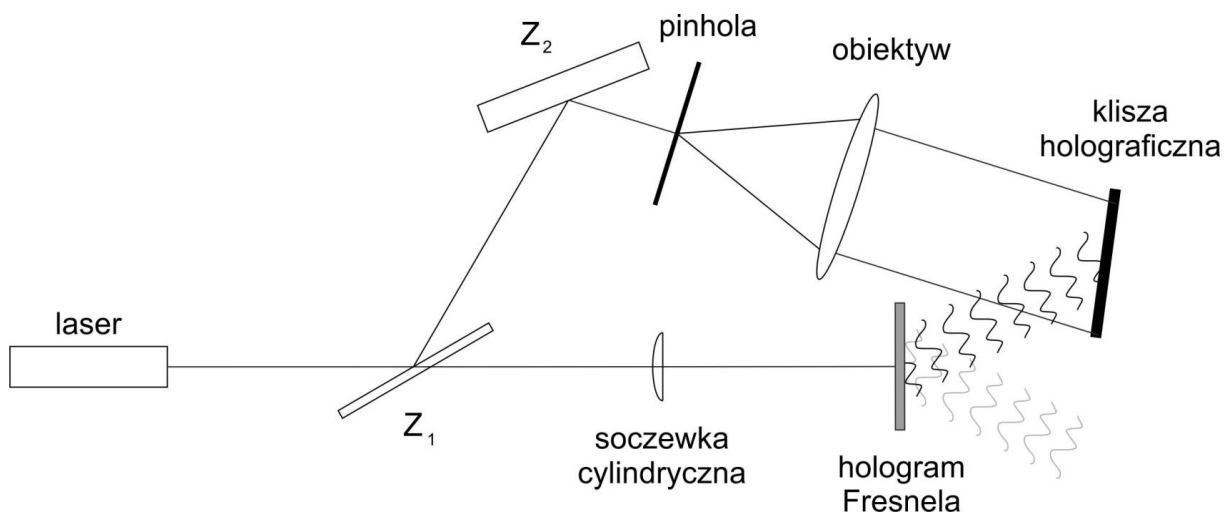
3. Rejestracja hologramu Bentona w technice dwustopniowej

Hologram Bentona można wykonać w różnych konfiguracjach. Ogólnie można wyróżnić dwie metody: jednostopniową i dwustopniową. Z doświadczeń przeprowadzanych w Laboratorium Informatyki Optycznej wynika, że ta ostatnia metoda jest najłatwiejsza i daje bardzo dobre wyniki.

W metodzie jednostopniowej hologram Bentona uzyskuje się w dosyć skomplikowanej optycznie konfiguracji. Obiekt jest ustawiony na stole podczas zapisu takiego hologramu, a jego przestrzenny obraz musimy uzyskać w płaszczyźnie kliszy holograficznej. W układach optycznych występują wtedy różne soczewki sferyczne i cylindryczne, przesłony, wiele zwierciadeł itp.

W metodzie dwustopniowej najpierw zapisuje się hologram Fresnela wybranego obiektu. Następnie odtwarza się z jego części obraz rzeczywisty. Obraz ten jest wykorzystywany do zapisu hologramu Bentona.

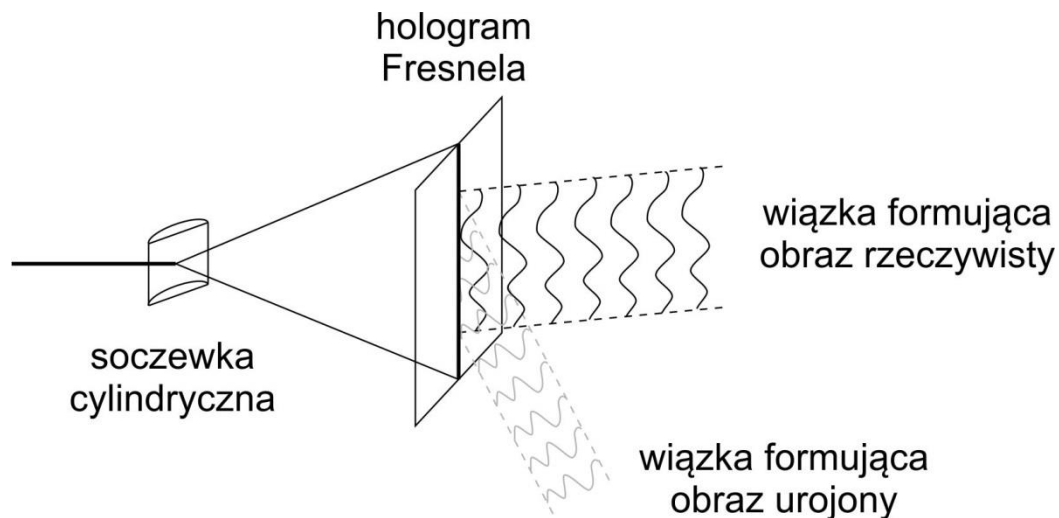
Do wykonania hologramu Bentona metodą dwustopniową najlepiej posłużyć się układem optycznym przedstawionym na rys. 2.



Rysunek 2. Przykładowy układ do zapisu hologramu Bentona metodą dwustopniową

Wiązka laserowa pochodząca z lasera jest dzielona na zwierciadle półprzebiegającym Z_1 . Następnie po odbiciu od zwierciadła Z_2 (100 %) jest wprowadzana do pinhola. Pinhola

wraz z obiektywem (lub soczewką sferyczną) formują falę płaską. Fala ta stanowi wiązkę odniesienia dla hologramu Bentona i pada na kliszę holograficzną, na której zostanie zapisany hologram.

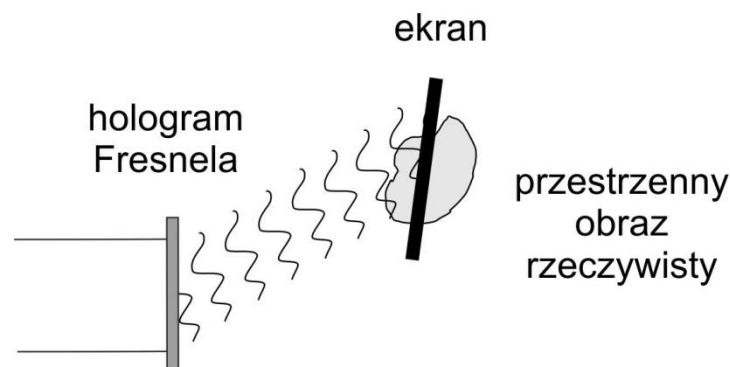


Rysunek 3. Sposób oświetlenia hologramu Fresnela, aby poprawnie zapisać hologram Bentona

Część wiązki, która nie uległa odbiciu od zwierciadła Z_1 oświetla punktowo soczewkę cylindryczną. W ten sposób formowany jest (w pionie) jasny pasek, który oświetla hologram Fresnela. Oświetlony pasek hologramu Fresnela (tak jak pokazuje rys. 3) generuje 2 wiązki ugięte - jedną tworzącą obraz urojony (linie szare) oraz drugą formującą obraz rzeczywisty w płaszczyźnie kliszy holograficznej (linie czarne).

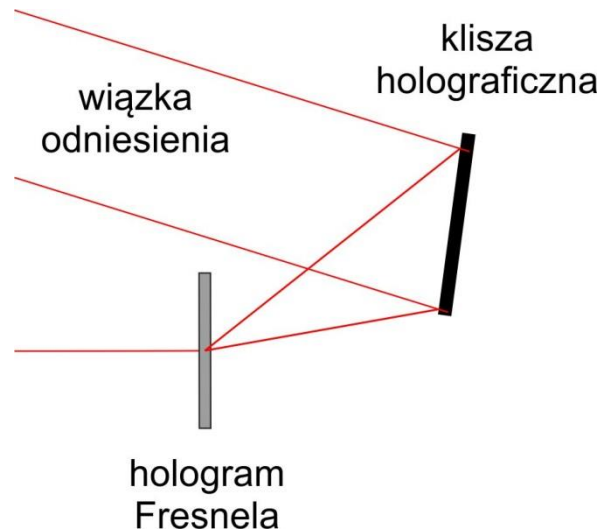
Hologram Bentona zapisujemy jako interferencję wiązki odniesienia z obrazem rzeczywistym odtworzonym z paska hologramu Fresnela.

Jak wiadomo dobrze wykonany hologram Fresnela, oświetlony na całej powierzchni falą odtwarzającą generuje obraz rzeczywisty. Obraz ten jest widoczny na ekranie. Trzeba jednak pamiętać, że jest to obraz przestrzenny, a ekran jest płaski (tak jak pokazano na rys. 4). Na ekranie widzimy nieostry obraz pochodzący z wielu płaszczyzn odtworzonego obrazu. Pamiętamy także, że punktowo oświetlony hologram Fresnela daje nam na ekranie ostry obraz rzeczywisty przedmiotu widzianego z wybranego punktu. Dzięki punktowemu oświetleniu hologramu (małej aperturze) mamy bardzo dużą głębię ostrości.



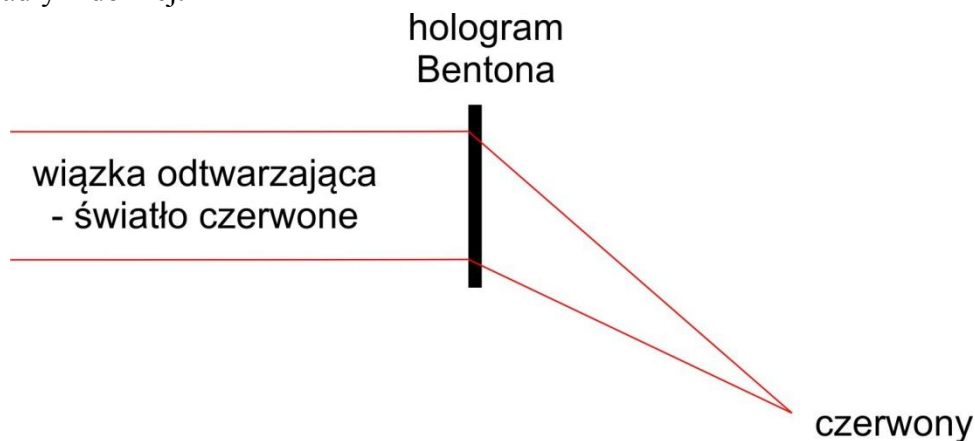
Rysunek 4. Powstawanie obrazu odtwarzanego z hologramu Fresnela

W przypadku zapisu hologramu Bentona na hologramie Fresnela oświetlony jest jedynie wąski pasek. Jeżeli wzięlibyśmy pod uwagę przekrój hologramu, a pasek, którym oświetlamy hologram Fresnela byłby dostatecznie wąski to możemy mówić o oświetleniu punktowym (w przekroju) źródłem światła (tak jak pokazuje rys. 5).



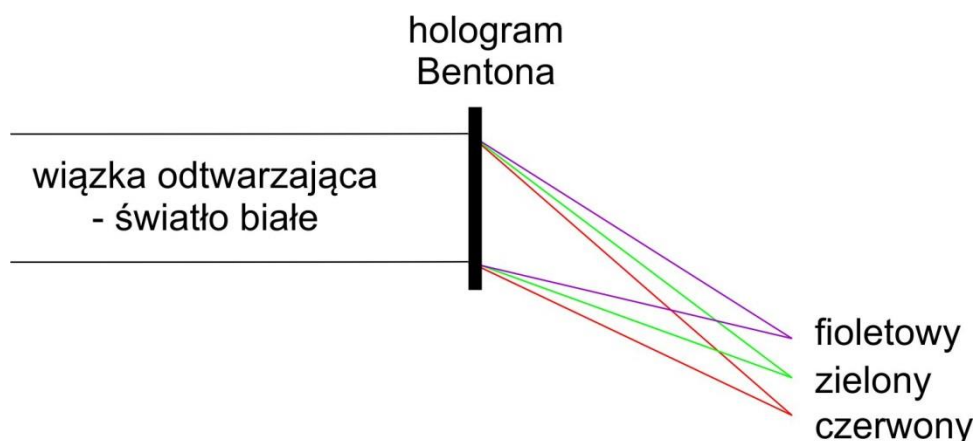
Rysunek 5. Idea odtworzenia obrazu z hologramu Fresnela do oświetlenia kliszy, na której zapisany zostanie hologram Bentona

Jeśli tak zapisany hologram Bentona zostanie oświetlony światłem monochromatycznym (wiązką odtwarzającą identyczną jak wiązka odniesienia), to odtworzony zostanie jedynie obraz obiektu zapisanego na hologramie Bentona widzianego przez wąską szczelinę (tak jak na rys. 6). Wzdłuż tej szczeliny widoczny będzie efekt paralaksy i przestrzennego widzenia. Niestety obecność szczeliny eliminuje możliwość dostrzeżenia paralaksy w kierunku prostopadłym do niej.



Rysunek 6. Odtworzenie hologramu Bentona światłem monochromatycznym

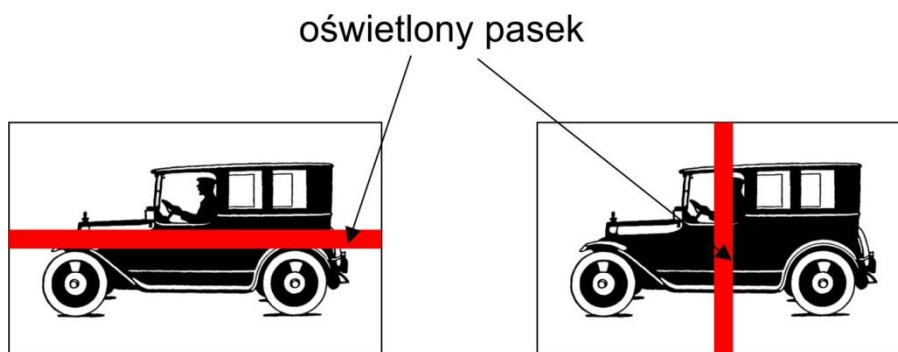
Jednak nie chodzi nam przecież o odtwarzanie takiego hologramu w świetle spójnym czasowo. Zwłaszcza, że widok bardzo cienkiej szczeliny, przez którą można dojrzeć obiekt, nie jest specjalnie efektowny. Przeanalizujemy teraz, jak zachowa się naświetlony, wywołany i utrwalony hologram Bentona w oświetleniu niekoherentnym czasowo.



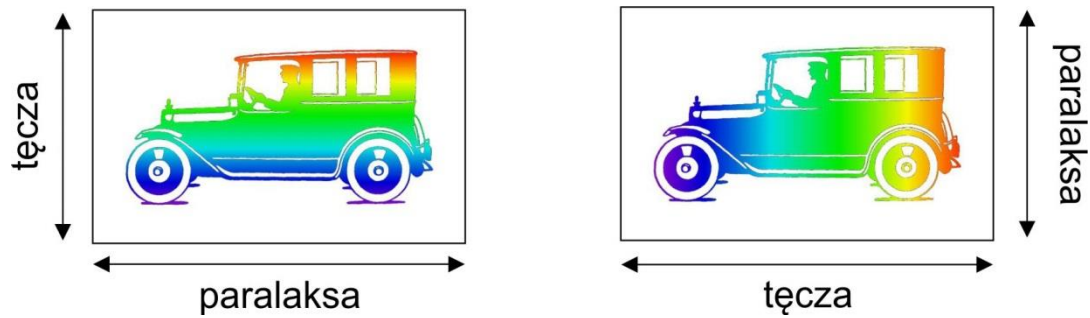
Rysunek 7. Odtworzenie hologramu Bentona światłem białym

Wąska szczelina widziana w świetle koherentnym czasowo – w świetle białym rozszerza się na całe widmo. Obiekt widziany jest w dość dużym zakresie kątów, ale każdemu z nich odpowiada inna barwa tęczy. Natomiast w kierunku prostopadłym zostaje zachowana paralaksa.

Ze względu na charakterystyczne odtwarzanie się obrazu z hologramu Bentona należy zastanowić się nad konfiguracją układu zapisującego hologram Fresnela. W zależności od parametrów zapisu, pasek na hologramie, z którego odtwarzany jest obraz, może być pionowy lub poziomy. Nie jest to obojętne, ponieważ istnieje ścisły związek pomiędzy kierunkiem oświetlonego paska, a kierunkiem paralaksy i widocznej na hologramie Bentona tęczy.



Oświetlenie hologramu Fresnela podczas zapisu hologramu Bentona. Wiązka odniesienia pada z góry (po lewej) oraz z boku (po prawej)



Odtworzenie z hologramu Bentona - zmodulowane prążki interferencyjne są w większości zorientowane poziomo (po lewej) lub pionowo (po prawej)

Rysunek 8. Wpływ kierunku oświetlonego paska na hologramie Fresnela na kierunek powstawania efektu paralaksy na hologramie Bentona

Na koniec można zastanowić się, jaki jest wpływ szerokości oświetlonego paska hologramu Fresnela na obraz otrzymany z hologramu Bentona. Bardzo wąski pasek zapewnia bardzo dobrą ostrość przedmiotu na całej jego głębokości. Ale w tym przypadku trzeba dobrze skupić wiązkę, aby uzyskać wystarczające natężenie wiązki przedmiotowej, dodatkowo w obrazie odtwarzanym z hologramu Fresnela będą widoczne duże spekle (mała apertura). Z drugiej strony szeroki pasek powoduje duże rozmycie i brak ostrości części obrazu położonego poza płaszczyzną hologramu.

Warto też wiedzieć, że hologramy Bentona można przygotowywać w odbiciu (napyłając warstwę metaliczną), powielać w dużych seriach, co jest głównie stosowane w zabezpieczeniach.

4. Wykonanie ćwiczenia

Ćwiczenie polega na zapisie hologramu Bentona metodą dwustopniową. Doświadczenie można przeprowadzić w układzie pokazanym na rys. 2. W miarę możliwości należy wykorzystać wcześniej wykonany hologram Fresnela.

UWAGA !!! Warunki zapisu hologramu:

- wyrównane drogi optyczne wiązek przedmiotowej i odniesienia od chwili podziału do kliszy holograficznej,
- stabilność mechaniczna całego układu,
- wyrównane natężenia obu interferujących wiązek,
- kąt pomiędzy wiązkami: przedmiotową i odniesienia, padającymi na emulsję holograficzną, powinien mieć wartość około 30°.

5. Literatura

1. J. W. Goodman, „Introduction to Fourier Optics”, McGraw-Hill, New York 1968
2. W. T. Cathey, „Optyczne przetwarzanie informacji i holografia”, PWN, Warszawa 1978
3. M. Pluta (red.), „Holografia optyczna”, PWN, Warszawa 1980
4. G. Saxby, „Manual of Practical Holography”, Butterworth-Heinemann, 1991