

Оптична голографія

Нолес (грецьк.) - весь, повний;
дгарно (грецьк.) - шмалу, малою.

Удея Г. належить
Д. Габору (1948 р.)

Фотографія - плоске зображення предмета на ФПл.
Регіструється та відтворюється амплітуда світлової хвилі, за допомогою якої записувалась або відтворюється інф. про тривимірний предмет, спроектована на площину.

Голографія (Г.) базується на використанні хвильових властивостей світла - законах інтерференції та дифракції: Г. дозволяє реєстр. та відтворювати амплітуду та фазу (+ поляризацію) світлової хвилі:

$$E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01} \cdot E_{02} \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

Розподіл інтенсивності в інтерф. картині визначається і амплітудою, і різницею фаз хвиль, що інтерферують.

Для реалізації Г. потрібно дві хвилі: сигнальна (предметка) та опорна, які когерентні між собою.

Два етапи: реєстрація (запис) Г. та відтворення (відбудова, реконструкція) Г.

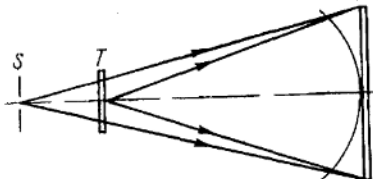
- 1) Хвиля (предметка) відбивається, а також дифрагує на деталях предмета (модулюється по ампл. та по фазі).
- 2) Предметну хвилю складають (заставляють проінтерферувати) із когерентною опорною хвилею.
- 3) За допомогою вже тільки опорної хвилі відтворюють із інтерфер. картини предметну хвилю.

Г. - зареєстрована (записана) інтерференц. картинка, отримана при накладанні опорної та предметної хвилі.

Схеми практичної реалізації голографії

Схема Д. Габора

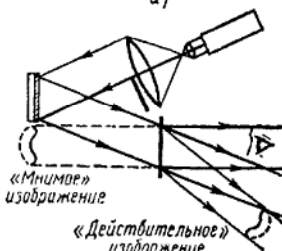
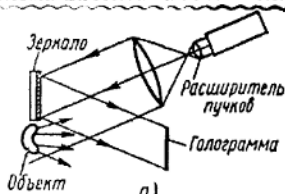
1) для голографування тілених прозорих предметів; 2) опорний та предметний промені розходяться в одному напрямку.



1) для голографування тілених прозорих предметів; 2) опорний та предметний промені розходяться в одному напрямку.

Згадайте метод поділу фронту хвилі для створення інтерфер. методом Вінніка.

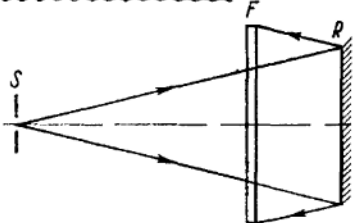
Схема Е. Лейта та Ю. Упатнієкса



1) застосовується розсіяне світло (дифузне); 2) метод: - 2-х променів; - нахиленого опорного променя; - позаосновий.

- відтворення предметної хвилі: відбувається дифракція окопної хвилі на Г;
- «дійсне зображ. має протилежний рельєф ніж предмет»;
- і «дійсне», і «уявне» зображ. спостерігаються кезоброн. оком;
- Г. відтворює ту із хвиль (будь-яку з 2-х!), яка приймана у часті Г.

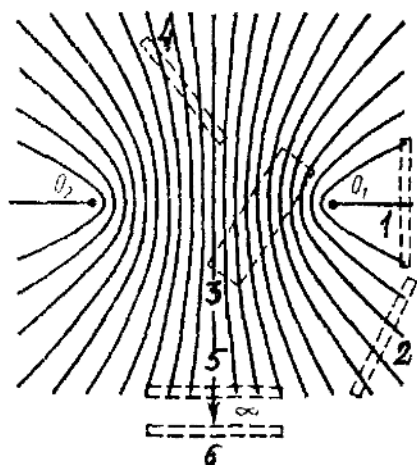
Схема Ю. Денісюка



Г. на ФП з товщиною елеульсією: $d \sim 15 \div 20$ мкм (або $\sim 30 - 40$ довж. хв. зеленого світла). Фотошар (F) прозорий. R - дзеркало.

відтворення предметної хвилі відбувається розбіжним променем «білого» світла: багатопроменева інтерференція.

Положення ФІл при голографуванні.



ФІл можна розмістити в будь-якому місці стоячої хвилі Г. На прикладі інтерн. картини, яка створена від двох когерентних джерел: 1- по Габору; 2- по Лейту і Упатніексу; 3- по Денисюку; 4- з оберненим хвильовим фронтом; 5- Фур'є Г.; 6 - Г. Фраунгофера.

Г. записується, як правило, на звичайну ФІл, або ресетрується будь-яким іншим методом, який дозволяє заресетрувати амплітуду хвилі.

Зовнішній вигляд Г. в мікроскоп в некогерентному світлі при



а.



б.

великому збільшенні:

а- найпростішого предмета.

Відстань між сусідніми смугами 5-20 мкм; б- складної сцени (зернистість фотоемульсії при такому збільшенні мікроскопу ще не спостерігається)

Розсіяна предметом хвиля виникає при відбитті від поверхні предмета і дифракції на її деталях. Реальна Г. являє собою дуже складну і заплутану інтерфер. картину з дуже мілкими деталями без будь-якої помітної під мікроскопом або неозброєним оком закономірності, хоча в закодованій формі Г. містить повну інформацію про амплітуду та фазу розсіяної хвилі.

Відтворення (реконструкція, відбудова) предметної хвилі: тим же лазером та під тим же кутом освітлення Г., що і ФІл при її експонуванні. Відбувається дифракція опорної хвилі на Г.

Вимоги до умов отримання Г.

1) *перухомість* (\sim долей λ) всіх деталей установки (мех. жорсткість, інакше не буде високої контрастності ("розмитість" гологр. зображення)).

2) Для Г. потрібні ФПл з високою *розд. здатністю*. Сучасні мікрозернисті ФПл – 10^3 - 10^4 ліній/мм. Коли розд. здатність ↑, чутливість ↓.

3) *Роль когерентності*. Різниця ходу між опорною та предм. хвилями дуже велика (до декількох метрів). Тому час когерентн. $\tau_k > 10^{-5} - 10^{-7}$ с, а $L_k \sim 1-10$ м.

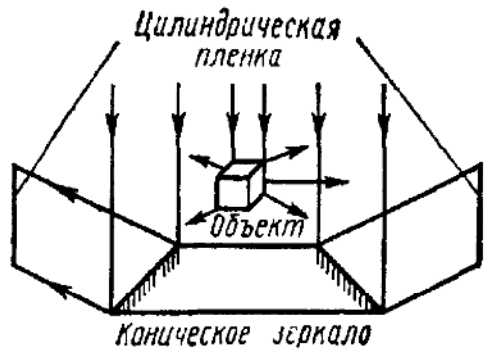
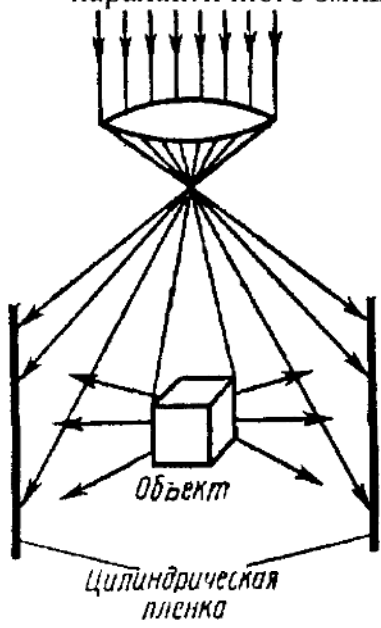
$\frac{\lambda}{\delta\lambda} \geq m_{max}$, де $m_{max} \sim \frac{L}{\lambda}$, L - лін. розмір предмету.

$\delta\lambda < \lambda^2 / L$. Якщо L~10 см. а $\lambda=500$ нм, то $\delta\lambda < 10^{-3}$ нм.

Для ртутної лампи $\delta\lambda \sim 30$ нм. Тільки лазер!

Властивості голографії

- 1. Г. – *без лінзовий спосіб* отримання опт. зображення.
- 2. Зображення, яке дає Г., - *тривимірне і панорамне* (з ефектом паралактичного зміщення)



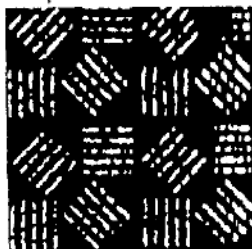
3. На одній ФПл можна зареєструвати *декілька* (реально до 100). *накладених одне на друге зображень* без помітного взаємного впливу.

4. Можна отримати *кольорове зображення*, освітлюючи Г. трьома різними лазерами (Г. на чорно-білій ФПл.!).

5. Частина Г, діє як ціла Г.



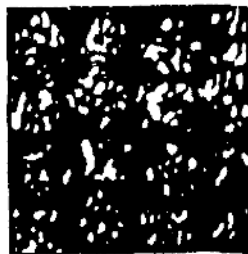
$5 \times 5 \text{ мм}^2$



$2,5 \times 2,5 \text{ мм}^2$



$1,25 \times 1,25 \text{ мм}^2$



$0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$

6. Г. має *асоціативний характер* Г. При реєстрації об'єкту O_1 об'ємної Г. випромінювання кожної його точки можна розглядати, як опорне відносно до всіх інших точок O_1 . Якщо отриману таким способом голограму відтворити випромінюванням *частини* точок записаного на ній об'єкту (наприклад, випромінюванням вістря об'єкта O_1), то не випромінювання відтворить зображення *всіх* точок об'єкта, відносно яких воно було опорним, тобто зображення об'єкта в цілому. Таким чином, тривимірна голограма за фрагментом записаної на ній інформації здатна "згадати за асоціацією" всю інформацію про об'єкт у цілому.

7. *Поляризаційна Г.* Г. здатна реєструвати та відтворювати не лише амплітуду, фазу і довжину хвилі, а і стан поляризації об'єктної хвилі. При запису Г. поляризації опорної та об'єктної хвиль можуть бути різними аж до їх взаємної ортогональності. Інтерференційна картина в такому випадку характеризується модуляцією стану поляризації поля, голограму якого записують. Неозброєне людське око не розрізняє ці стани. Але якщо таку картину зареєструвати на світлочутливому середовищі, яке реагує на стан поляризації випромінювання, наприклад, *анізотропією* коефіцієнта поглинання, то можна записати поляризаційну Г. На ній одночасно записуються

дві періодичні структури, які зсунуті на $1/2$ періоду інтерференційної картини і відповідають взаємно ортогональним лінійним станам поляризації. Це неначе дві голограми, записані на одному посісві. Відповідно при реконструкції поляризаційної Г. відтворюються дві об'єктні хвилі, які зсунуті на $1/2$ періоду і поляризовані ортогонально одна до одної і під кутом 45^0 відносно до поляризації опорної хвилі. У поляризаційній Г. відтворюється повна інформація про об'єкт, включаючи стан поляризації розсіяного ним поля. Тим самим практично завершилась побудова основ голографії, як метода запису та відтворення всіх без виключення характеристик хвильового поля.

8. Динамічна Г. на відміну від статичної Г. існує лише на момент дії опорного та предметного променів, вона не потребує процедури фіксації зображення. Динамічну Г. формують у нелінійному світлочутливому середовищі безпосередньо в момент, коли на нього діє хвильове поле. При цьому використовується зворотний зв'язок між хвилями, що записуються, та голограмою, що ними записується. Іншими словами, у процесі запису відбувається і зчитування інформації. Записана інформація зразу ж, спонтанно починає стиратись, що дозволяє записувати і зчитувати нову інформацію. Суттєвим у динамічній Г. є запізнення в ній зворотного зв'язку між променем запису та записаною голограмою. Інформація, яка міститься у деякій момент часу в промені, визначає характеристики середовища, які в свою чергу впливають на параметри наступної у часі частини променя. Це створює можливість динамічного, в реальному часі управління параметрами як світлових променів, так і інформації, яку вони несуть. На основі динамічних голографічних перетворень розробляються логічні елементи комп'ютерів з швидкодією до 10^{-12} с, що наближається до граничного значення цієї характеристики, яке пов'язане з порядком періоду світлової хвилі (10^{-14} - 10^{-15} с).

9. "Хвильоводна Г." пов'язаний з безпосереднім використанням хвильоводних мод тонкоплівкових хвильоводів як опорного, сигнального та відтворюючого пучків. При цьому взаємодія мод з реєструючим середовищем відбувається безпосередньо, без етапу перетворення їх у випромінювання вільного простору. Саме реєструюче середовище є елементом тонкоплівкового хвильоводу,

воно розташоване вздовж напрямку розповсюдження хвилеводних мод.

10. Г. принципово *менш чутливі до дефектів* порівняно із голографічним побітовим або аналоговим записом інформації. Це пов'язане з однією з основних властивостей Г., яка характеризує тільки цей спосіб запису - не тільки вся субголограма, але і кожний її фрагмент має властивість відтворювати записану на ній інформацію. Однак при цьому, слід мати на увазі, що, чим більша частина субголограми використовується для відтворення, тим вища точність відтворення. Обмеження Г. за площею призводить до зменшення розділення м'яких деталей, а обмеження за глибиною знижує точність спектрального (кольорового) відтворення. При наявності на Г. пилу, подрипин, інших дефектів інформаційні втрапи проявляються у вигляді зменшення чіткості границь та кількості променистих краєвості між окремими елементами зображення. Це дозволяє казати про надзвичайно високу *нерешкодостійкість та надійність* голографічного запису;

11. Виконуються не послідовні, а *паралельні процеси запису та читання* інформації у вигляді окремих субголограм розміром $\sim 10^4 \cdot 10^5$ біт;

12. *Час звертання* до будь-якої з субголограм складає ~ 1 мкс;