

Державний вищий навчальний заклад
“Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”
Фізико-технічний факультет
Кафедра теоретичної і експериментальної фізики

**Методичний посібник
з курсу «Електронна теорія речовини»**

«Лазери та їх застосування»

Розробник: Кланічка Ю.В, кандидат фізико-математичних наук

Методичний посібник з курсу «Електронна теорія речовини» *«Лазери та їх застосування»* затверджений на засіданні кафедри теоретичної та експериментальної фізики, протокол від “__” _____ 20__ р. № ____

Завідувач кафедри _____ (доц. Ліщинський І.М.)

“__” _____ 20__ р.

Івано-Франківськ – 2017 р.

Що таке лазер?

Лазер (англ. *LASER* — *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, підсилення світла за допомогою вимушеного випромінювання) (рос. *лазер*, англ. *laser*, нім. *Laser*) — пристрій для генерування або підсилення монохроматичного світла, створення вузького пучка світла, здатного поширюватися на великі відстані без розсіювання і створювати винятково велику густину потужності випромінювання при фокусуванні (10^8 Вт/см² для високоенергетичних лазерів). Лазер працює за принципом, аналогічним принципів роботи мазера. Лазери використовуються для зв'язку (лазерний промінь може переносити набагато більше інформації, ніж радіохвилі), різання, пропалювання отворів, зварювання, спостереження за супутниками, медичних і біологічних досліджень і в хірургії. Інша назва лазера - оптичний квантовий генератор.



Загальні відомості

Лазер – джерело когерентного, монохроматичного і вузькопрямованого електромагнітного випромінювання оптичного діапазону, яке характеризується великою густиною енергії. Існують газові лазери, рідинні та на твердих тілах (діелектричних кристалах, склі, напівпровідниках). В лазері має місце перетворення різних видів енергії в енергію лазерного випромінювання).





Головний елемент лазера – активне середовище, для утворення якого використовують: вплив світла, електричний розряд у газах, хімічні реакції, бомбардування електронним пучком та ін. методи «накачування». Активне середовище розташоване між дзеркалами, які утворюють оптичний резонатор. Існують лазери неперервної та імпульсної дії. Лазери отримали широке застосування в наукових дослідженнях (фізика, хімія, біологія, гірничча справа тощо), голографії і в техніці. Наприклад, у геодезії, маркшейдерії, у кінці ХХ ст. створено новий метод лазерної сепарації алмазів з потоку руди

Властивості лазерів

Лазери є унікальними джерелами світла. Їх унікальність визначають властивості, якими не володіють звичайні джерела світла. На противагу, наприклад, звичайної електричної лампочки, електромагнітні хвилі, що зароджуються в різних частинах оптичного квантового генератора, віддалених один від одного на відстані макроскопічні, виявляються когерентні між собою. Це означає, що всі коливання в різних частинах лазера відбуваються узгоджено. Щоб розібрати поняття когерентності в деталях, потрібно згадати поняття інтерференції. Інтерференція - це взаємодія хвиль, при якому відбувається складання амплітуд цих хвиль. Якщо вдається відобразити процес цієї взаємодії, то можна побачити так звану інтерференційну картину (вона виглядає як чергування темних і світлих ділянок). Інтерференційну картину здійснити досить важко, тому що звичайно джерела досліджуваних хвиль породжують хвилі неузгоджено, і самі хвилі при цьому будуть гасити один одного. У цьому випадку інтерференційна картина буде надзвичайно розмита або ж не буде видно зовсім

Якщо взяти незалежні джерела світла, наприклад, дві електричні лампочки, то повсякденний досвід показує, що $I = I_1 + I_2$, тобто результуюча інтенсивність дорівнює сумі інтенсивностей накладаються пучків, а тому інтерференційна частина перетвориться в нуль. Тоді кажуть, що пучки некогерентних між собою, отже, некогерентних і джерела світла. Однак, якщо накладаються пучки залежні, то інтерференційний член не звертається в нуль, а тому $I \neq I_1 + I_2$. У цьому випадку в одних точках простору результуюча інтенсивність I більше, в інших - менше інтенсивностей I_1 і I_2 . Тоді й відбувається інтерференція хвиль, а значить, джерела світла виявляються когерентними між собою. З поняттям когерентності також пов'язане поняття просторової когерентності. Два джерела електромагнітних хвиль, розміри і взаємне розташування яких дозволяє отримати інтерференційну картину, називаються просторово когерентними. Інший чудовою рисою лазерів, тісно пов'язаної з когерентністю їх випромінювання, є здатність до концентрації енергії - концентрації в часі, в спектрі, у просторі, у напрямку розповсюдження. Перше означає те, що випромінювання оптичного генератора може тривати всього близько сотні мікросекунд. Концентрація в спектрі припускає, що ширина спектральної лінії лазера дуже вузька.. Лазери також здатні створювати пучки світла з дуже малим кутом розбіжності. Як правило, це значення досягає 10^{-5} радий. Це означає, що на Місяці такий пучок, посланий з Землі, дасть пляма діаметром близько 3 км. Це є проявом концентрації енергії лазерного променя в просторі і у напрямку розповсюдження.

Для деяких квантових генераторів характерна надзвичайно висока ступінь монохроматичності їх випромінювання. Будь-який потік електромагнітних хвиль завжди має набір частот. Випромінювання і поглинання атомної системи характеризується не тільки частотою, але і деякою невизначеністю цієї величини, званої шириною спектральної лінії (або смуги). Абсолютно монохроматичного одноколірного потоку створити не можна, однак, набір частот лазерного випромінювання надзвичайно вузький, що і визначає його дуже високу монохроматичність. Потрібно відзначити, що лінії лазерного випромінювання мають складну структуру і складаються з великого числа надзвичайно вузьких ліній. Застосовуючи відповідні оптичні резонатори, можна виділити і стабілізувати окремі лінії цієї структури, створивши тим самим одночастотний лазер.

Лазери є найбільш потужними джерелами світлового випромінювання. У вузькому інтервалі спектра (протягом проміжку часу, тривалістю близько 10-13 с) у деяких типів лазерів досягається потужність випромінювання порядку 10^{17} Вт/см², в той час як потужність випромінювання Сонця дорівнює лише $7 \cdot 10^3$ Вт/см², причому сумарно по всьому спектру. На вузький ж інтервал $\lambda = 10^{-6}$ см (це ширина спектральної лінії лазера) припадає у Сонця всього лише 0,2 Вт/см². Якщо завдання полягає в подоланні порогу в 10^{17} Вт/см², то вдаються до різних методів підвищення потужності.

Для підвищення потужності випромінювання необхідно збільшити число атомів, що беруть участь у посиленні світлового потоку за рахунок індукованого випромінювання, і зменшити тривалість імпульсу.

Класифікація лазерів

Газові

- гелій-неоновий
- аргоновий
- криптоновий
- ксеноновий
- азотний
- фтористо-водневий
- киснево-йодний
- вуглекислотний (CO_2)
- на монооксиді вуглецю (CO)
- ексімерний

Твердотільні

- рубінові
- алюмо-итрієвий
- на фториді ітрію-літію
- на ванадаті ітрію
- на неодимовому склі
- титан-сапфірові
- олександритовий
- оптоволоконний
- на фториді кальцію

На парах металів

- гелій-кадмієвий
- гелій-ртутний
- гелій-селеновий
- на парах міді
- на парах золота

Інші типи

- напівпровідниковий
- лазерний діод
- на барвниках
- на вільних електронах
- псевдо-нікелево-самарієвий

Класифікація лазерів

За схемами функціонування:

- 3-рівневі
- квазі-4-рівневі
- 4-рівневі

За агрегатним станом активного середовища:

- газові
- рідинні
- твердотільні

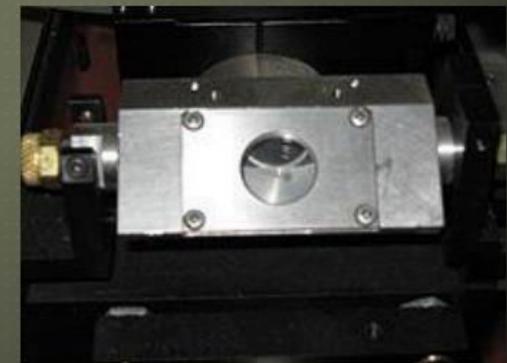
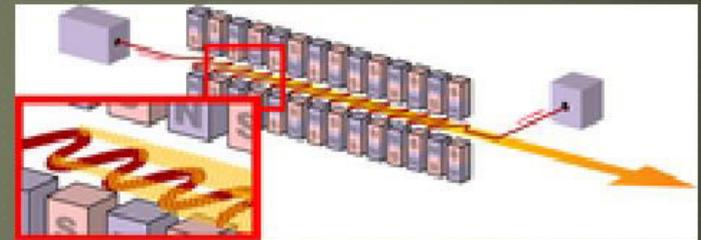
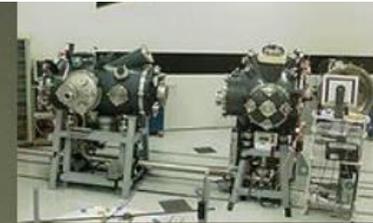
За методом отримання інверсії:

- з електронною накачкою
- з хімічною накачкою
- з оптичною накачкою
- з тепловою накачкою



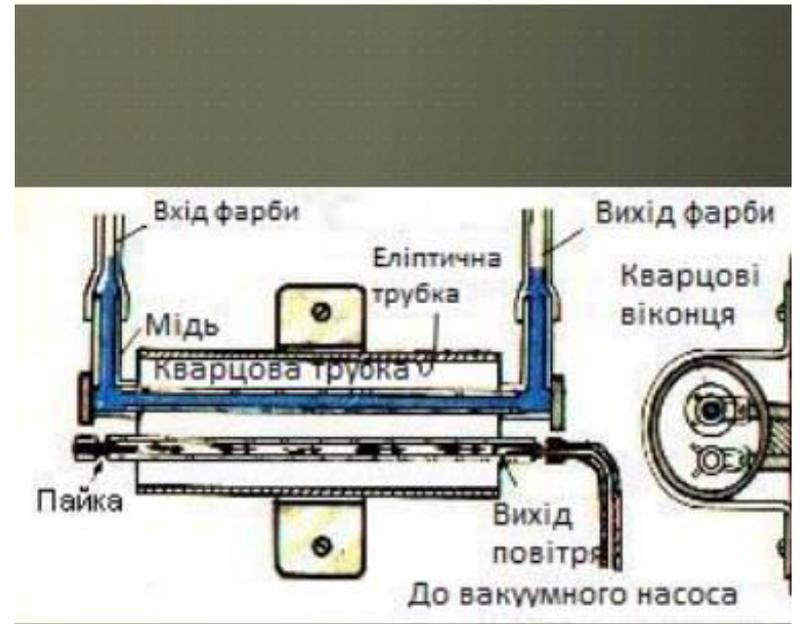
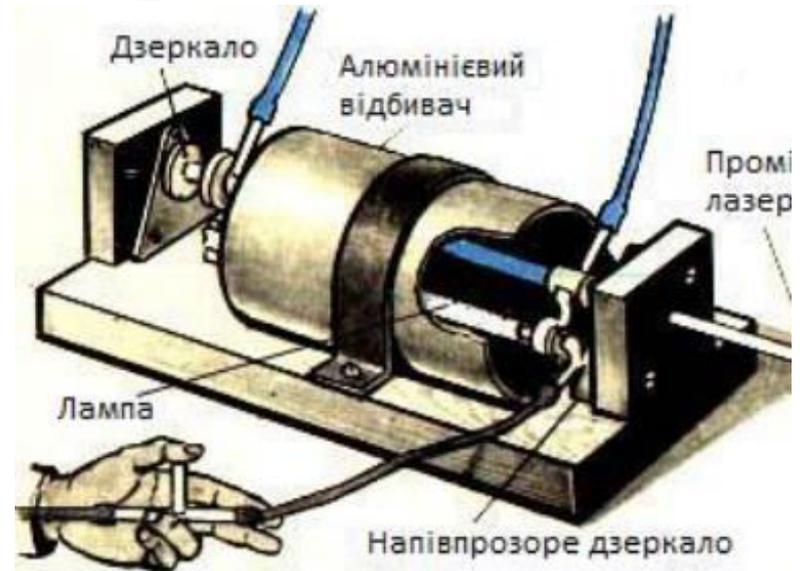
Найбільш розповсюдженою є класифікація за фізичими особливостями активного середовища:

- твердотільні — solid-state laser
- напівпровідникові — semiconductor laser
- волоконні — fiber laser
- газові — gas laser
- іонні — ion laser
- молекулярні — molecular laser
- рідинні — dye laser
- газодинамічні — gasdynamic laser
- хімічні — chemical laser
- ексімерні — eximer laser
- лазери на центрах забарвлення — color centers laser
- фотодисоціаційні — photodissociation laser
- лазери на вільних електронах — free electron laser
- рентгенівські — x-ray laser
- лазери з перебудовою довжини хвилі генерації — tunable laser
- раманівські — raman laser
- параметричні — parametric laser



Будова лазера

Лазер - джерело світла. У порівнянні з іншими джерелами світла лазер має низку унікальних властивостей, пов'язаних з когерентністю і високою спрямованістю його випромінювання. Випромінювання "не лазерних" джерел світла не має цих особливостей. "Серце лазера" – його активний елемент. В одних лазерів це кристалічний або скляний стрижень циліндричної форми. В інших - запаяна скляна трубка, всередині якої перебуває спеціально підібрана газова суміш. В третіх - кювета зі спеціальною рідиною. Відповідно розрізняють лазери твердотільні, газові й рідинні.



Напівпровідниковий лазер

Якщо з'єднати разом дві пластини з напівпровідників різних типів, то посередині утворюється перехідна зона. Атоми речовини, що знаходяться в ній, здатні збуджуватися при проходженні електричного струму поперек зони і генерувати світло. Дзеркалами, необхідними для отримання лазерного випромінювання, можуть служити поліровані і посріблені грані самого кристала напівпровідника.

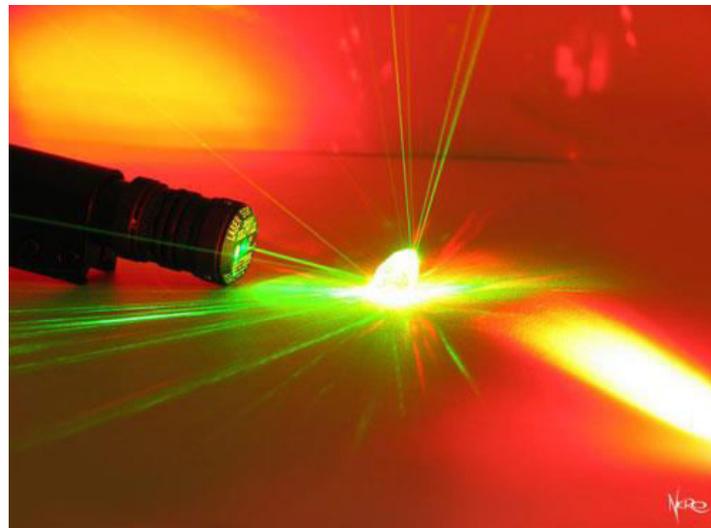
Серед цих лазерів кращим вважається лазер на основі арсеніду галію - з'єднання рідкісного елемента галію з миш'яком. Його інфрачервоне випромінювання має потужність до десяти ват. Якщо цей лазер охолодити до температури рідкого азоту (-200°), потужність його випромінювання можна збільшити в десять разів. Це означає, що при площі випромінюючого шару в 1 см^2 потужність випромінювання досягла б мільйони ват. Але напівпровідник з перехідним шаром такого розміру виготовити поки неможливо з технічних причин.

Можна порушувати атоми напівпровідника пучком електронів (як в твердотільних лазерах - лампою-спалахом). Електрони проникають глибоко всередину речовини, збуджуючи більшу кількість атомів; ширина випромінюючої зони виявляється в сотні разів ширша, ніж при порушенні електричним струмом. Тому потужність випромінювання таких лазерів з електронним накачуванням досягає вже двох кіловат.

Малі розміри напівпровідникових лазерів роблять їх дуже зручними для застосування там, де потрібен мініатюрний джерело світла великої потужності.

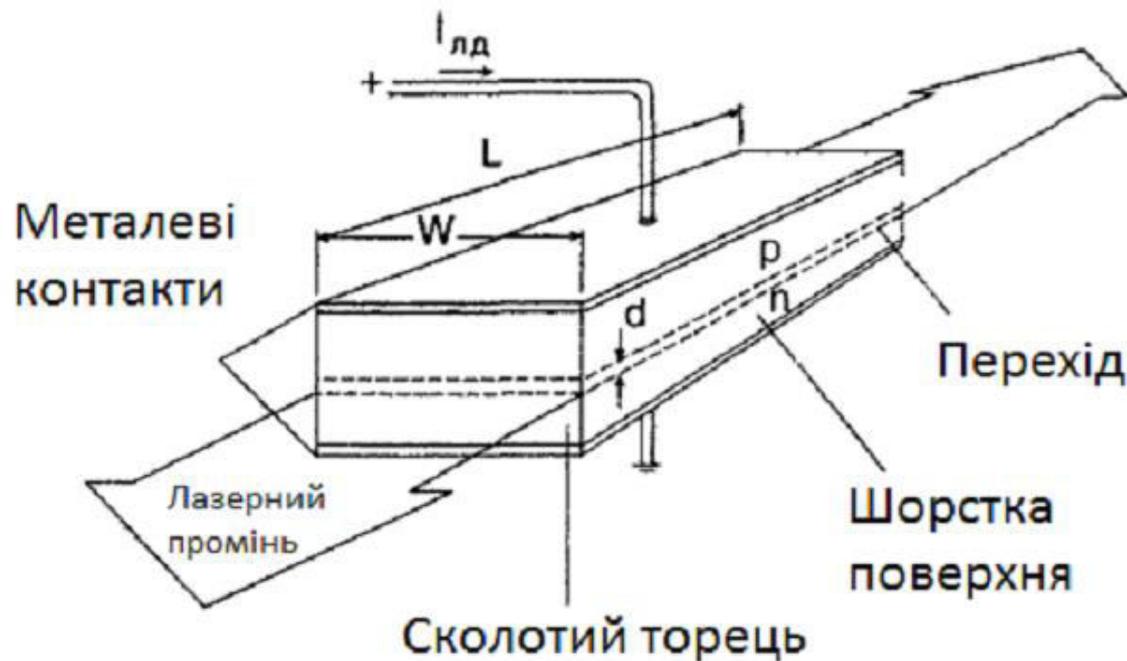
Рубіновий лазер був першим квантовим генератором оптичного діапазону. Його активний елемент був виготовлений із кристала рожевого рубіна ($\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}^{3+}$) зі вмістом хрому близько 0,05%. Червоний колір кристалів рубіна визначається саме наявністю широких смуг поглинання в синій і зеленій областях спектра. Зі збільшенням концентрації хрому колір кристала міняється від блідо-рожевого (0,05% Cr^{3+}) до темно-червоного (1% Cr^{3+}). Крім цих смуг, у рубіні є ще широка смуга власного поглинання в ультрафіолетовій області.

Квантовий вихід люмінесценції рубіна при кімнатній температурі становить 65...70%, а при низьких температурах він близький до 100%. Як правило, використовують кристали, оптична вісь яких утворює кут 90° або 60° з віссю стрижня. Випромінювання такого кристала й відповідно лазерне випромінювання лінійно поляризовані з вектором E , перпендикулярним до площини, що проходить через оптичну вісь і вісь стрижня.



Відповідно до квантової теорії, електрони в напівпровіднику можуть займати два широкі енергетичні рівні. Нижній являє собою валентну зону, а верхній – зону провідності. В нормальному чистому напівпровіднику при низькій температурі всі електрони зв'язані і займають енергетичний рівень, розташований в межах валентної зони. Якщо на напівпровідник подіяти електричним струмом або світловими імпульсами, то частина електронів перейде в зону провідності.

В результаті переходу у валентній зоні з'являться вільні місця, які в фізиці називають "дірками". Ці дірки грають роль позитивного заряду. Відбудеться перерозподіл електронів між рівнями валентної зони та зони провідності, і можна говорити, в певному сенсі, про перенаселеність верхньої енергетичної зони

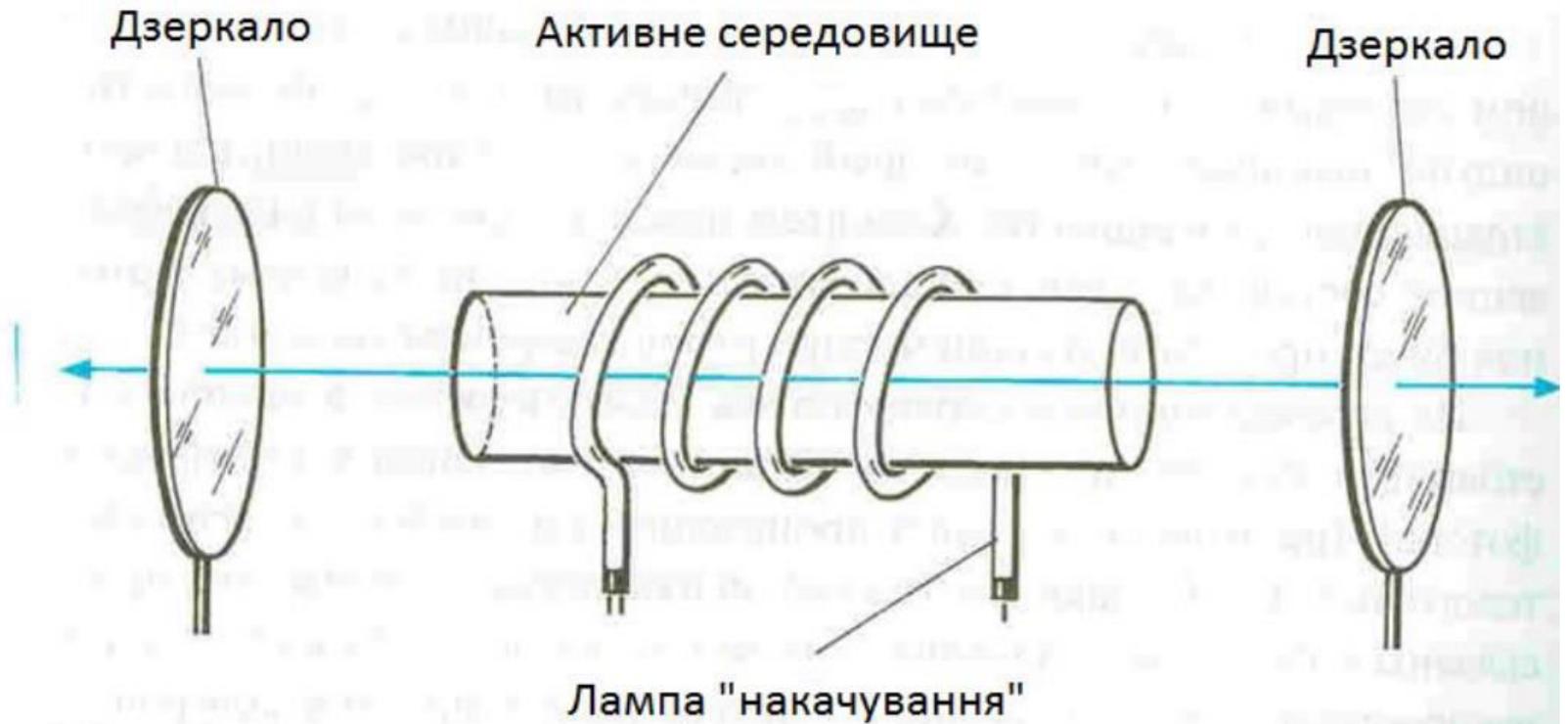


Напівпровідниковий лазер, або напівпровідниковий квантовий генератор – лазер, в якому напівпровідниковий кристал є робочою речовиною. У цих лазерах, на відміну від лазерів ін. типів, використовуються випромінювальні квантові переходи не між ізольованими рівнями енергії атомів, молекул і іонів, а між дозволеними енергетичними зонами кристала. В напівпровідникових лазерах збуджуються і випромінюють (колективно) атоми, що складають кристалічну решітку. Ця відмінність визначає важливу особливість н. л. —малі розміри і компактність (об'єм кристалу $\sim 10^{-6} \text{—} 10^{-2} \text{ см}^3$). В н. л. вдається отримати показник оптичного посилення до 10^4 см^{-1} , хоча зазвичай для збудження генерації лазера достатні і менші значення.

Іншими практично важливими особливостями н. л. є: висока ефективність перетворення електричної енергії в енергію когерентного випромінювання (до 30—50%); мала інерційність, що обумовлює широку смугу частот прямої модуляції (більш 10^9 Гц) ; простота конструкції; можливість перебудови довжини хвилі і наявність великого числа напівпровідників, довжин хвиль, що безперервно перекривають інтервал, від 0,32 до 32 мкм.



Будова рубінового лазера



Лазери на барвниках

Називаються вони так тому, що їхня робоча рідина - розчин анілінових фарб у воді, спирті, кислоті та інших розчинниках. Рідина налита в плоску ванночку-кювету. Кювету встановлена між дзеркалами. Енергія молекули барвника накачується оптично, тільки замість лампи-спалаху спочатку використовувалися імпульсні рубінові лазери, а пізніше - лазери газові. Лазер-накачування всередину рідинного лазера не вбудовують, а поміщають поза лазера, вводячи його промінь в кювету через віконце в корпусі

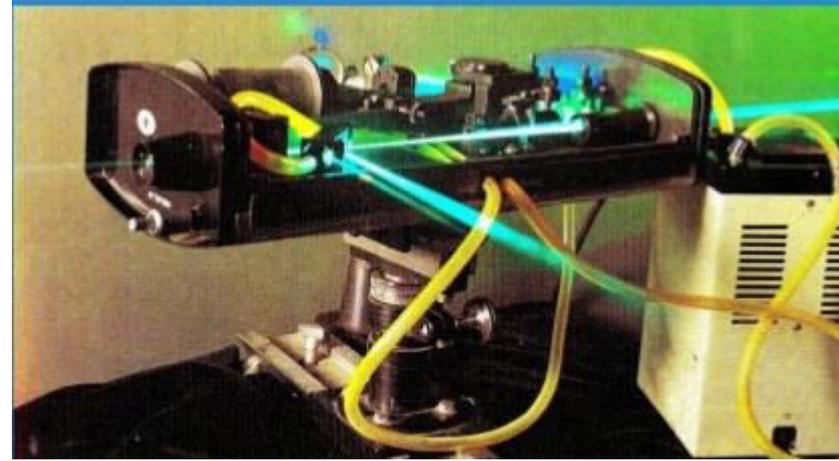
Розчини можуть випромінювати імпульси світла різної довжини хвилі - від ультрафіолету до інфрачервоного світла - і потужністю від сотень кіловат до декількох мегават (мільйонів ват), в залежності від того, який барвник налитий у кювету. Лазери на барвниках володіють однією особливістю. Всі лазери випромінюють строго на одній довжині хвилі. Це їх властивість лежить в самій природі вимушеного випромінювання атомів, на якому заснований весь лазерний ефект.

У великих і важких молекулах органічних барвників вимушене випромінювання виникає відразу в широкій смузі довжин хвиль. Щоб домогтися від лазера на барвниках монохроматичності, на шляху променя стає світлофільтр. Це не просто забарвлене скло. Він являє собою набір скляних пластин, які пропускають тільки світло однієї довжини хвилі.

Змінюючи відстань між пластинами, можна злегка змінити довжину хвилі лазерного випромінювання. Такий лазер називається перебудовуваним. А для того, щоб лазер міг генерувати світло в різних ділянках спектра - переходити, скажімо, від синього до червоного світла або від ультрафіолетового до зеленого, - досить змінити кювету з робочою рідиною. Найбільш перспективні вони виявилися для дослідження структури речовини.

Перебудовуючи частоту випромінювання, можна дізнатися, світло якої довжини хвилі поглинається або розсіюється на шляху променя. Таким способом можна визначити склад атмосфери і хмар на відстані до двохсот кілометрів, виміряти забрудненість води чи повітря, вказавши відразу, якого розміру частки його забруднюють. Тобто можна побудувати прилад, автоматично і безперервно контролюючий чистоту води і повітря.

Лазери на барвниках



ХІМІЧНИЙ ЛАЗЕР

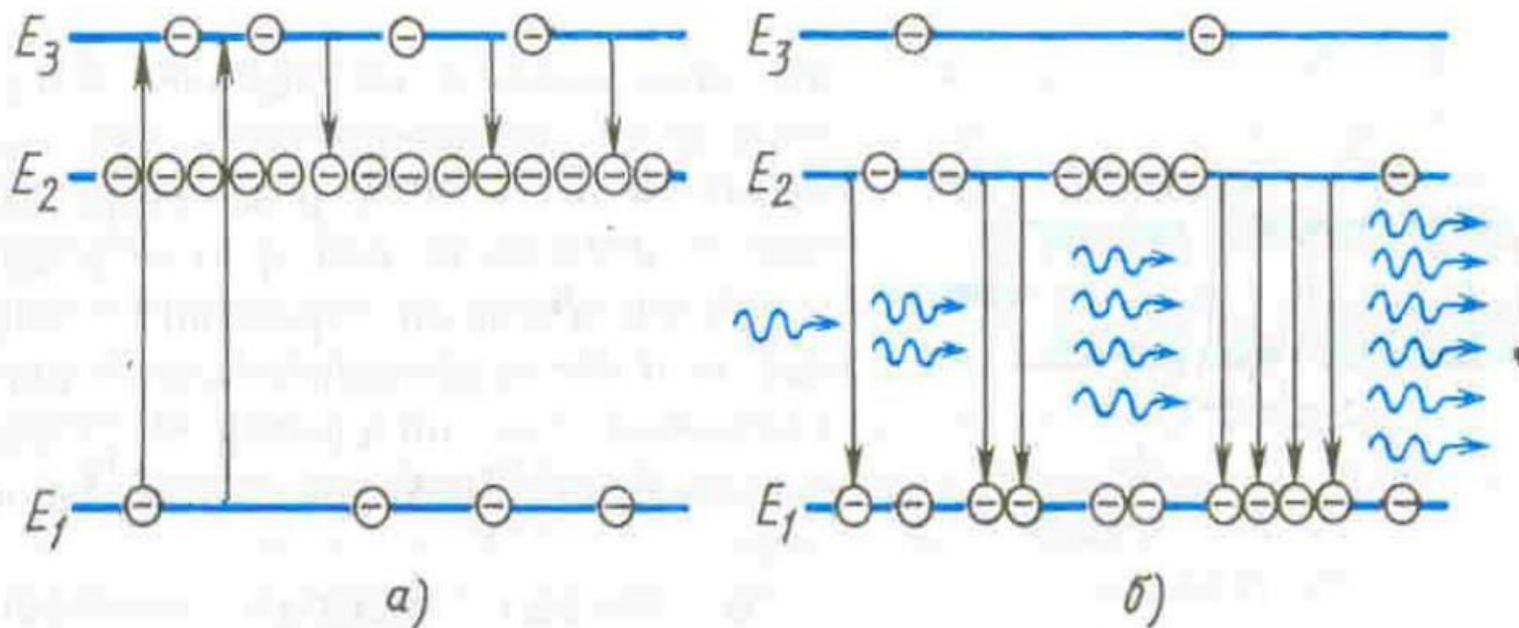
Пошук нових лазерів, нових шляхів підвищення потужності лазерного випромінювання, ведеться в різних напрямках. У такому лазері в процесі реакції сполуки фтору F з воднем H₂ або дейтерієм D₂ утворилися молекули HF або DF переходять на вищий енергетичний рівень. Спускаючись з цього рівня, вони і створюють лазерне випромінювання - молекули HF на хвилі 2700 нм, молекули DF - на хвилі 3600 нм. У лазерах цього типу досягаються потужності до 10 кВт.

В одному з порівняно потужних імпульсно-періодичних газових лазерів як робочої речовини використовуються пари міді при температурі 1500 ° C або в більш простому варіанті пари солей міді при температурі 400 ° C. Накачування здійснюється енергією електронів, що рухаються в газовому розряді.

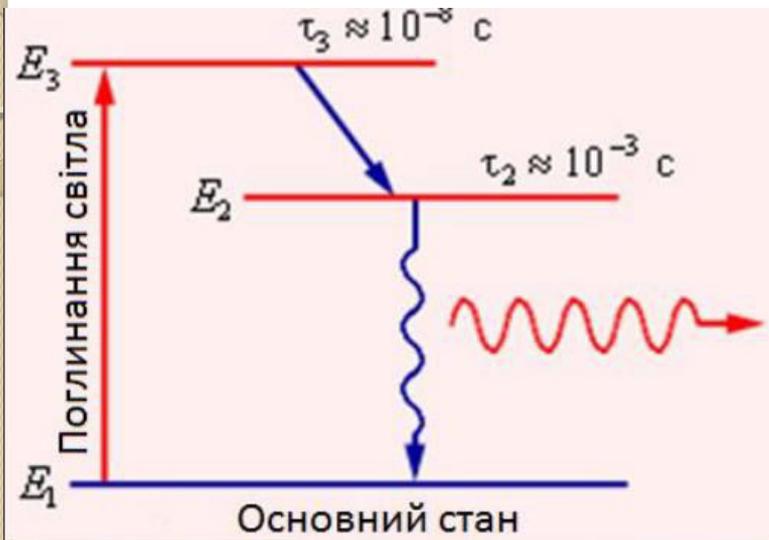
Лазерне випромінювання відбувається при переході атомів міді із збудженого стану в одне з двох метастабільних станів, і при цьому можливе випромінювання на двох довжинах хвиль 510,6 нм і 578,2 нм, що відповідають двом відтінкам зеленого кольору. У резонаторі, який представляє собою інтенсивно прокачуємо трубу діаметром 5 см і довжиною 1 м, досягнута потужність в імпульсі 40 кВт при тривалості імпульсів 15-20 нс, частоті проходження 10-100 кГц, середньої потужності в кілька десятків ват і ккд більше 1% - Ведеться робота з підвищення середньої потужності «мідного» лазера до 1 кВт.

Особливий клас утворюють потужні лазери на барвниках, головне достоїнство яких - можливість плавної зміни частоти. Використовувані в них рідкі середовища мають «розмиті» енергетичні рівні і допускають генерацію на багатьох частотах. Вибір однієї з них може проводитися зміною параметрів резонатора, наприклад, поворотом призми всередині нього. Якщо для накачування використовувати потужні джерела випромінювання, зокрема, імпульсні лазери і здійснити інтенсивну циркуляцію рідкого барвника, то стає реальним створення лазерів з перебудовуваною частотою із середньою потужністю близько 100 Вт і частотою повторення імпульсів 10-50 кГц.

Лазер-оптичний квантовий генератор, фізичною основою якого є явище індукованого випромінювання



Трьохрівнева система оптичного накачування



Непрозоре
дзеркало

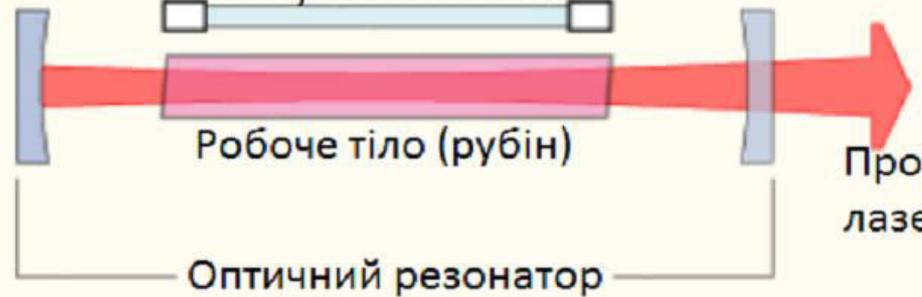
Напівпрозоре
дзеркало

Імпульсна лампа

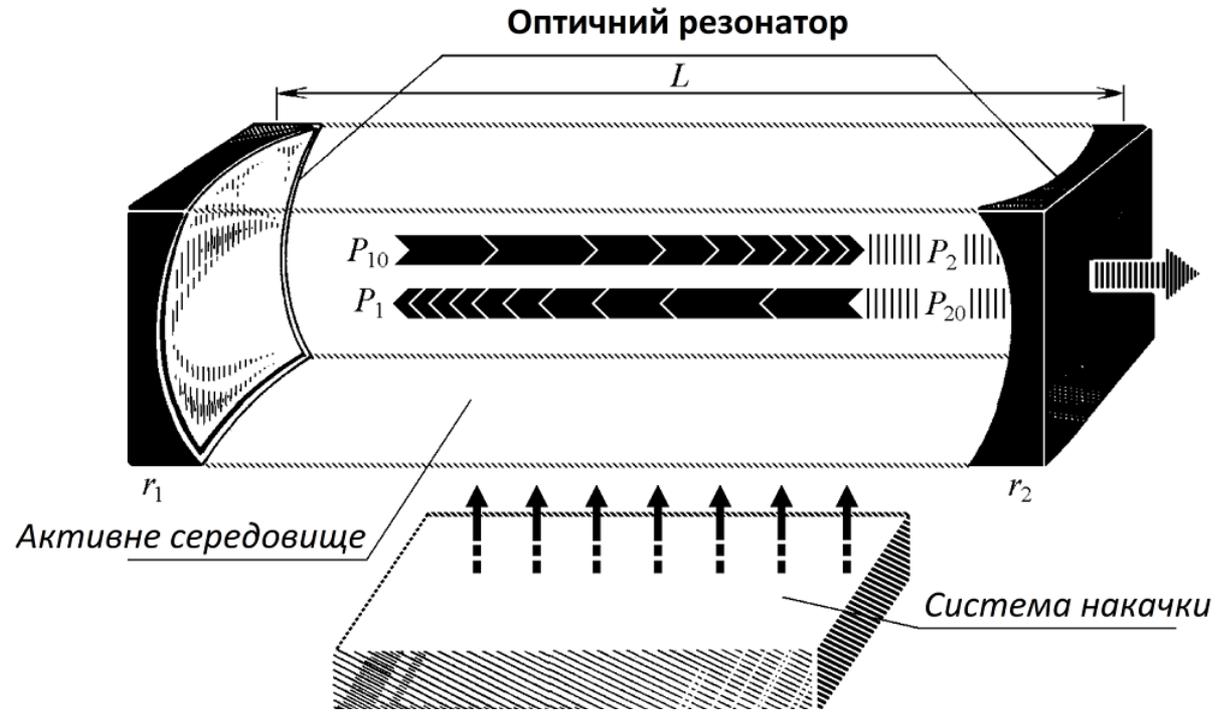
Робоче тіло (рубін)

Промінь
лазера

Оптичний резонатор



Структурна схема лазера



Лазерне активне середовище - середовище, в якому створена інверсна населеність хоча б для однієї пари енергетичних рівнів і яке здатне підсилювати випромінювання на частоті лазерного переходу. Процеси, що призводять до виникнення інверсної населеності в активному середовищі, називаються накачуванням, а фізична система, що забезпечує ці процеси - системою накачування. У лазері позитивний зворотний зв'язок забезпечує оптичний резонатор -система відображаючих, заломлюючих, фокусуючих, дисперсійних та інших оптичних елементів, в просторі між якими можуть збуджуватись певні типи коливань електромагнітного поля.

Рідинні лазери

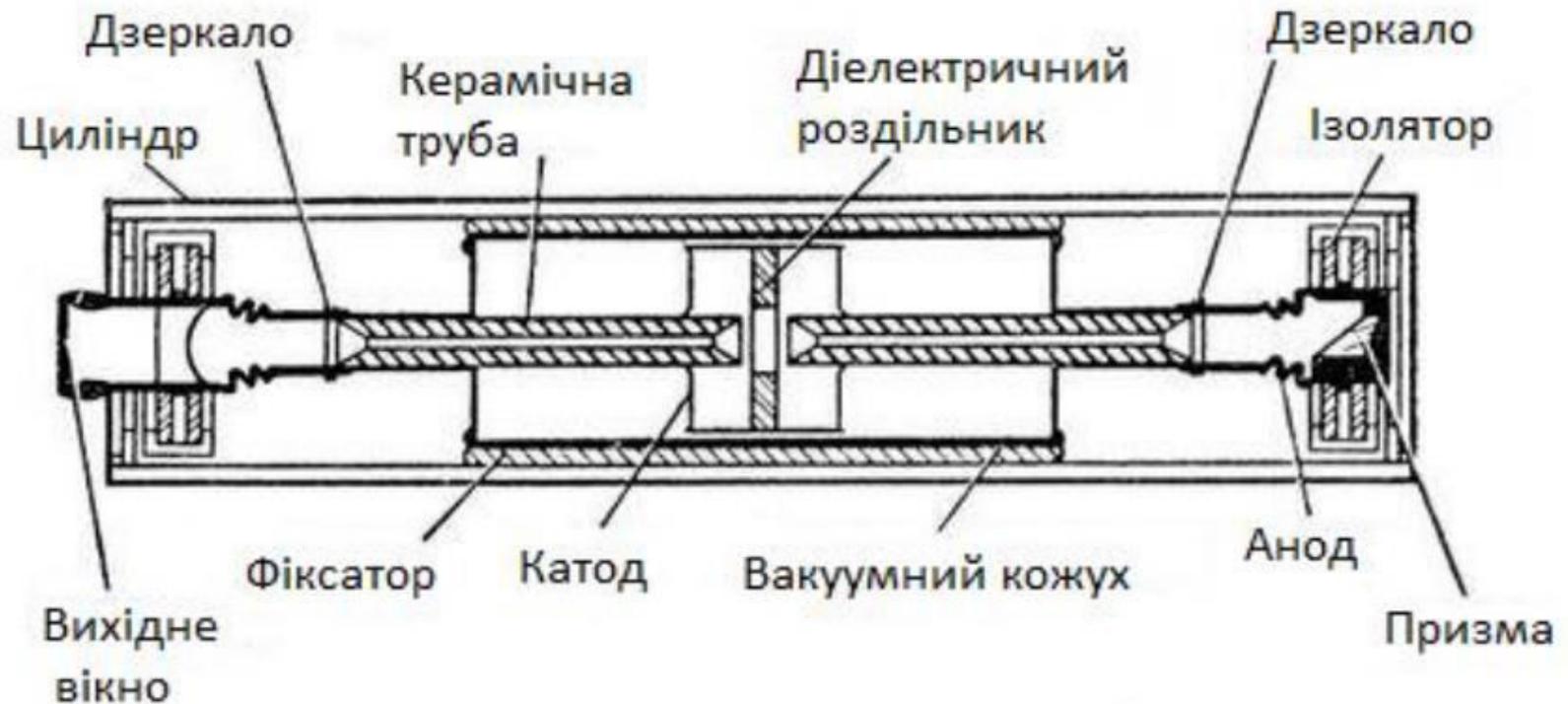
У твердих речовинах можна створити велику концентрацію випромінюючих атомів і, значить, отримати велику енергію з одного кубічного сантиметра стрижня. Але їх важко робити, вони дорогі і до того ж можуть лопатися через перегріву під час роботи.

Гази дуже однорідні оптично, розсіювання світла в них мало, тому розмір газового лазера може бути досить значним: довжина 10 метрів при діаметрі 10-20 сантиметрів для нього не межа. Але таке збільшення розміру нікого не радує. Це вимушений захід, необхідний для того, щоб компенсувати незначну кількість активних атомів газу, що знаходиться у слухавці лазера під тиском в соті частки атмосфери. Прокачування газу трохи рятує справу, дозволяючи зменшити розмір випромінювача.

Рідини об'єднують в собі достоїнства і твердих і газоподібних лазерних матеріалів: щільність їх всього в два-три рази нижче щільності твердих тіл (а не в сотні тисяч разів, як щільність газів). Тому кількість їх атомів в одиниці об'єму приблизно однаково. Значить, рідинний лазер легко зробити таким же потужним, як лазер твердотільний. Оптична однорідність рідин не поступається однорідності газів, а значить, дозволяє використовувати її великі обсяги. До того ж рідина теж можна прокачувати через робочий об'єм, безперервно підтримуючи її низьку температуру і високу активність її атомів.

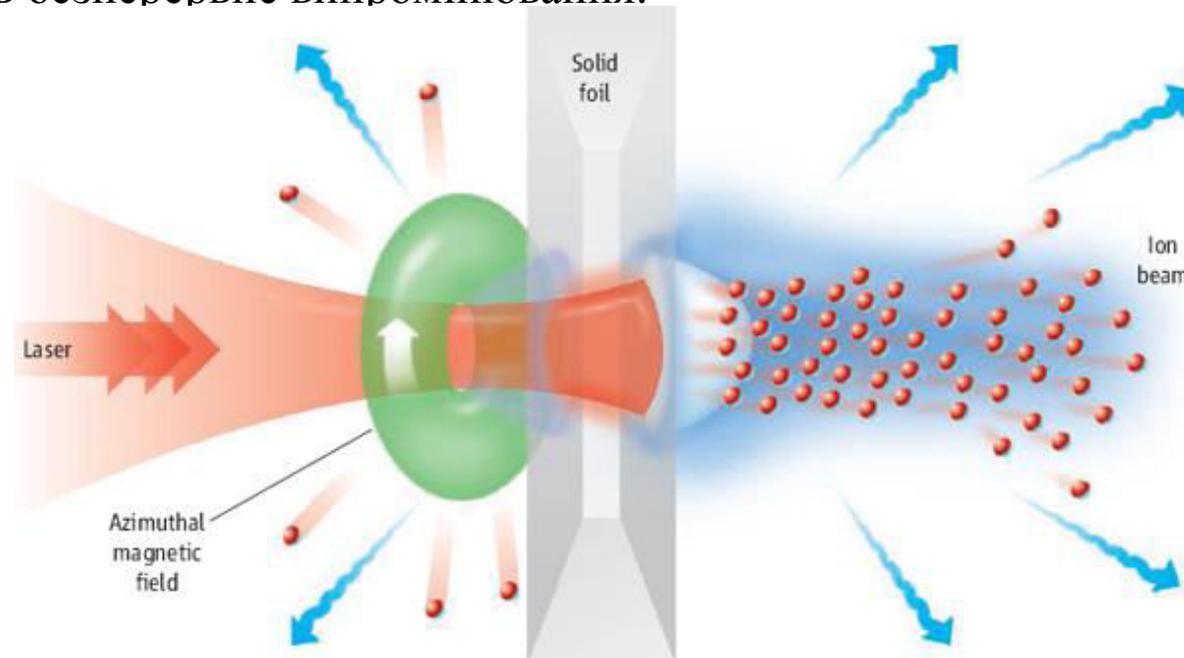
Газовий лазер

Для таких лазерів в якості активної речовини використовують або суміш газів, або речовину, яка знаходиться в газоподібному стані. Газове середовище полегшує отримання неперервного індукованого випромінювання, оскільки для переводу речовини в збуджений стан потрібна менша енергія. Вперше в якості активної речовини використали суміш гелію і неону.



ПОТУЖНІ ЛАЗЕРИ

Одна з головних тенденцій у розвитку сучасної прикладної фізики - це отримання все більш високої щільності енергії та пошук шляхів вивільнення її за все більш короткий час. Стрімкий прогрес квантової електроніки, привів до створення великого сімейства потужних лазерів. Потужні лазери відкрили принципово нові можливості як для отримання рекордно високих концентрацій енергії в просторі і часі, так і для дуже зручного підведення світлової енергії до речовини. Перш ніж знайомитися з конкретними результатами по створенню потужних лазерів, корисно згадати, що їх можна розділити на три групи - імпульсні, імпульсно-періодичні і безперервні. Перші випромінюють світло одиночними імпульсами, другі - безперервними серіями імпульсів, і, нарешті, треті, дають безперервне випромінювання.



Потужність - характеристика відносна, вона говорить про те, яка робота виконана, яка енергія витрачена або отримана за одиницю часу. Одиниця потужності, як відомо, ват (Вт) - він відповідає енергії в 1 Дж, що виділилася за 1 секунду (с). Якщо виділення цієї енергії розтягнеться на 10 с, то на кожну секунду доведеться лише 0,1 Дж і, отже, потужність складе 0,1 Вт. Ну, а якщо 1 Дж енергії виділиться за соту частку секунди, то потужність складе вже 100 Вт. Тому що за такої інтенсивності процесу за секунду було б видано 100 Дж. На це «б» не потрібно звертати уваги - при визначенні потужності не має значення, що процес тривав лише одну соту секунди і енергії за цей час виділилося трохи. Потужність говорить не про повне, підсумковому, дії, а про його інтенсивності, про його концентрації в часі. Якщо робота йшла досить довго, у всякому разі, більше секунди, то потужність вказує на те, що було дійсно зроблено за одну секунду.

Застосування лазерів

Наука

Спектроскопія

Вимірювання відстаней

Фотохімія

Намагнічування

Інтерферометрія

Голографія

Охолодження

Термоядерний синтез

Озброєння

Лазерна зброя

«Зоряні війни»

Цілепоказчики

Лазерний приціл

Лазерне наведення

Медицина

Скальпель

Точкова зварка тканин

Хірургія

Діагностика

Видалення пухлин

Промисловість і побут

Різка, зварка, маркування, гравірування

CD, DVD-програвачі, принтери, дисплеї

Фотолітографія, зчитувачі штрихкодів

Оптичний зв'язок, системи навігації (л.гіроскоп)

Маніпуляції мікрооб'єктами

Використання лазерів у медицині

Розвиток лазерної техніки дозволив сформувати великий науково-технічний напрямок – взаємодії когерентного монохроматичного електромагнітного випромінювання з біологічними системами – лазерної медицини. Дослідження випромінювання лазера проводилися за такими напрямками, як виявлення процесів, що відбуваються в біологічній системі, та дослідження останньої під впливом випромінювання лазера; використання лазерів у медицині для діагностики та терапії; встановлення ступеня безпечності впливу його випромінювання на здоров'я людини.

Сьогодні лазери успішно застосовуються в таких сферах, як хірургія, онкологія, офтальмологія, терапія, стоматологія, урологія, гінекологія, щелепно-лицева хірургія, нейрохірургія, ендоскопія, фізіотерапія. Відкриття лазерного фотогідравлічного ефекту дало широкий спектр можливостей для пластичної хірургії. В онкології для лікування ран, виразок, шкіряних захворювань застосовують низькоінтенсивне лазерне випромінювання.

В офтальмології за допомогою лазерів проводять такі лікування, як відшарування сітчатки, діабет (крововилив судин, що живлять сітківку), глаукома, приварювання сітчатки та ін. При великих тривалостях (секунди, мілісекунди) і малих рівнях потужності в імпульсі випромінювання проводить коагулюючу дію. Разом і тепловою коагулюючою дією в офтальмології використовується руйнуючий ефект лазерного випромінювання, що має місце при фокусуванні надкоротких надпотужних імпульсів, які проявляються в ефекті мікробибуху.

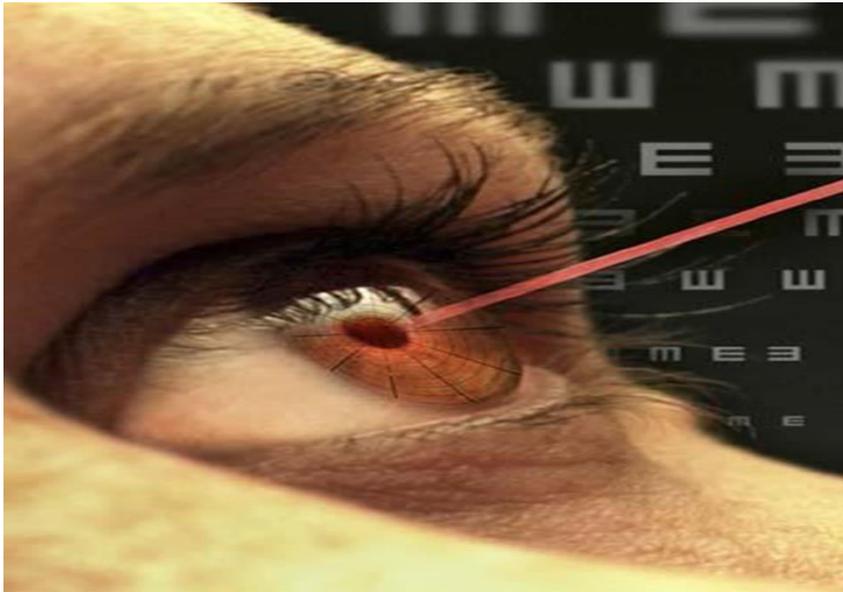
Такий режим використовується в офтальмологічній установці “Ятаган-1” для пробивання каналів у тканинах ока при лікуванні глаукоми. Чисто зелене випромінювання мінімально пошкоджує нервову тканину. Крім того, в зоні лазерної обробки зеленим світлом відбувається більш ефективно проростання кровоносних судин, що дозволяє здійснювати більш ранню та більш ефективну обробку очного дна. Типовий лазер на нейтральних атомах (атомарний) - це газорозрядний гелій-неоновий лазер, в якому використовується суміш гелію і неону в співвідношенні приблизно 10:1,5:1 при загальному тиску в газорозрядній трубці близько 80 Па.

Вимушене випромінювання створюється атомами неону, а атоми гелію беруть участь лише в передачі енергії атомів неону. При збудженні газової суміші електричним струмом (постійним або змінним з частотою близько 30 МГц) виникає тліючий розряд, подібний розряду в рекламній неоновій лампі. В електричному розряді частина атомів неону переходить з основних рівнів E1 на довгоживучі збуджені рівні E4 і E5.

Інверсна заселеність створюється завдяки більшій населеності цих рівнів у порівнянні з короткоживучим рівнем E3. У чистому неоні створенню інверсійної заселеності заважає метастабільний рівень E2, тому корисним виявилось введення в робочу суміш гелію. Під дією електричного розряду частина атомів гелію іонізується і утворюється плазма, яка містить електрони з великою кінетичною енергією.

Ці електрони, стикаючись з атомами гелію, переводять їх з основного стану E1 на довгоживучі збуджені рівні E2 та E3, які близькі до рівнів E4 і E5 неону. Тому при зіткненнях збуджених атомів гелію із збудженими атомами неону виникає висока ймовірність резонансної передачі збудження, в результаті чого атоми неону виявляються на рівнях E4 і E5, а атоми гелію повертаються в основний стан. Імовірність збудження атомів неону до рівнів E2 та E3 за рахунок зіткнень з атомами гелію мала, тому що енергія цих станів істотно відрізняється від енергії рівнів E2 та E3 гелію. Таким чином, використання допоміжного газу -гелію дає можливість здійснити додаткове заселення енергетичних рівнів неону і отримати інверсне заселення між рівнями E3 і E4, E5. Оскільки рівень E3 неону є короткоживучим, на переходах E4→E3 та E5→E3 можна отримати безперервну генерацію. Переходу E4→E3 відповідає генерація в ближній інфрачервоній області з довжиною хвилі 1,153 мкм, а переходу E5→E3 - в червоній області видимого спектру з довжиною хвилі 0,6328 мкм. Кожен з рівнів E3, в діапазоні видимого і інфрачервоного спектрів гелій-неонового лазера може містити велике число (~ 130) спектральних ліній. Виділення потрібної спектральної лінії здійснюється підбором дзеркал оптичного резонатора, введенням в резонатор диспергуючого або селективно поглинаючого елемента, постійного магніту. Між рівнями E4 і E5 неону є ще один короткоживучих рівень, перехід атомів на який з рівня E5 дозволяє отримати генерацію на довжині хвилі 3,392 мкм.

У гелій-неоновому лазері робоча газова суміш знаходиться вгазорозрядній трубці, довжина якої може досягати 0,2 ... 1 м. Трубка виготовляється з високоякісного скла або кварцу. Потужність генерації істотно залежить від діаметра трубки. Збільшення діаметру веде до збільшення кількості робочої суміші, що сприяє зростанню потужності генерації. Проте зі збільшенням діаметра трубки зменшується електронна температура плазми, що призводить до зменшення числа електронів, здатних збуджувати атоми газів, що в кінцевому підсумку знижує потужність генерації. Для зменшення втрат торці газорозрядної трубки закриті плоскопаралельними пластинками, які розташовані не перпендикулярно до осі трубки, а так, щоб нормаль до цієї пластинки становила з віссю трубки кут $\theta = \arctg n$ (n - показник заломлення матеріалу пластинки), званий кутом Брюстера.



Особливість відбиття електромагнітної хвилі від межі розділу різних середовищ під кутом Іб широко застосовується в лазерній техніці. Встановлення біля вихідних вікон кювети з активним середовищем під кутом Брюстера однозначно визначає поляризацію лазерного випромінювання. Для випромінювання, поляризованого в площині падіння, втрати в резонаторі мінімальні. Природно, саме це лінійно - поляризоване випромінювання встановлюється в лазері і є переважаючим. Газорозрядна трубка поміщена в оптичний резонатор, який утворений дзеркалами з інтерференційних покриттям. Дзеркала закріплені у фланцях, конструкція яких дозволяє повертати дзеркала в двох взаємоперпендикулярних площинах при юстуванні шляхом обертання юстувальних гвинтів. Збудження газової суміші здійснюється шляхом подачі високочастотної напруги з блока живлення на електроди. Блок живлення являє собою високочастотний генератор, що забезпечує генерування електромагнітних коливань з частотою 30 МГц з потужністю кілька десятків ват.

Широко поширене живлення газових лазерів постійним струмом при нарузі 1000 ... 2000 В, яка отримується за допомогою стабілізованих випрямлячів. У цьому випадку газорозрядна трубка є з підігрівним катодом і холодним анодом. Для запалювання розряду в трубці використовується електрод, на який подається імпульсна напруга близько 12 кВ.

Цю напругу одержують шляхом розряду конденсатора ємністю 1 ... 2 мкФ через первинну обмотку імпульсного трансформатора. Перевагою гелій-неонових лазерів є когерентність їхнього випромінювання, мала споживана потужність (8 ... 10 Вт) і невеликі розміри. Основні недоліки - невисокий ККД (0,01 ... 0,1%) і низька вихідна потужність, що не перевищує 60 мВт. Ці лазери можуть працювати в імпульсному режимі, якщо для збудження використовувати імпульсну напругу з великою амплітудою при тривалості в одиниці мікросекунд. Головні області практичного застосування гелій-неонових лазерів - наукові дослідження та вимірвальна техніка.

У такій галузі, як кардіологія, в США і Росії групою медиків і фізиків ФІАН проведені перші спроби щодо забезпечення позасудинного живлення кров'ю серцевого м'яза. При захворюванні (закупорці) судинної системи, що живить серцевий м'яз, виявилось можливим здійснити додаткове постачання кров'ю серцевого м'яза через багаточисельні отвори, зроблені точисельні отвори, зроблені в м'язі за допомогою CO₂-лазера, що працює в імпульсному режимі. Лазер безперервної дії на ІАГ: Nd³⁺ успішно був застосований тією ж групою медиків та фізиків, а також із участю медиків в Каунасі для лікування такого захворювання, як аритмія серця.

В ході пошуку шляхів лікування цієї хвороби медики навчилися виявляти топологію паразитних каналів, по яких надходять додаткові хибні сигнали до серцевого м'яза, які викликають аритмію в роботі серця.



Були випробовані різноманітні методи розтину цих хибних каналів, однак кардинального вирішення проблеми не було знайдено. Переміщення нервових каналів за допомогою ІАГ: Nd3+ лазера виявилось досить ефективним, тому дослідження в цьому напрямку заслуговують уваги.



Застосування лазерних променів у промисловості

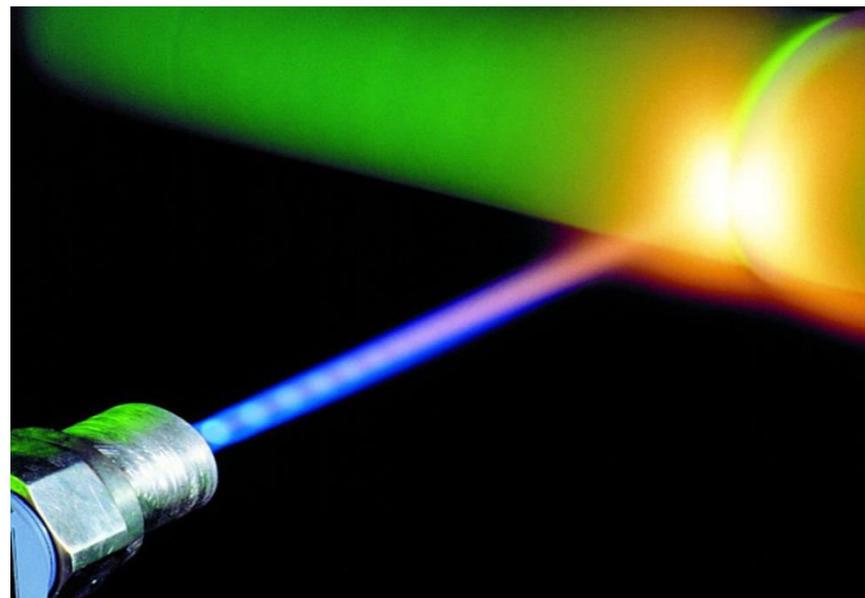
Оптичні квантові генератори та їх випромінювання знайшли застосування в багатьох галузях промисловості. Так, наприклад, в індустрії спостерігається застосування лазерів для зварювання, обробки і розрізання металевих і діелектричних матеріалів і деталей у приладобудуванні, машинобудуванні і в текстильній промисловості. Починаючи з 1964 року малопродуктивне механічне свердління отворів стало замінятися лазерним свердлінням.

Термін лазерне свердління не слід розуміти буквально. Лазерний промінь не з отвір: він його пробиває за рахунок інтенсивного випаровування матеріалу в точці впливу. Приклад такого способу свердління - пробивання отворів у годинникових каменях, яка зараз вже є звичайною справою. Для цієї мети застосовуються твердотільні імпульсні лазери, наприклад, лазер на склі з неодимом. Отвір у камені (при товщині заготовки близько 0,1 - 0,5 мм.) Пробивається серією з декількох лазерних імпульсів, що мають енергію близько 0,1 - 0,5 Дж. і тривалістю близько 10^{-4} с. Продуктивність установки в автоматичному режимі складає 1 камінь у секунду, що в 1000 разів вище продуктивності механічного свердління. Лазер використовується і при виготовленні надтонких дротів з міді, бронзи, вольфраму та інших металів.

При виготовленні дротів застосовують технологію протягування (волочіння) дроту крізь отвори дуже малого діаметру. Ці отвори (або канали волочіння) висвердлюють у матеріалах, які мають особливо високу твердість, наприклад, в надтвердих сплавах. Найбільш твердий, як відомо, алмаз. Тому краще всього протягувати тонкий дріт крізь отвори в алмазі (алмазні фільтри). Тільки вони дозволяють отримати дріт діаметром всього 10 мкм. Однак, на механічне свердління одного отвору в алмазі потрібно 10 годин (!). Зате зовсім неважко пробити цей отвір серією з декількох потужних лазерних імпульсів. Як і у випадку з пробивкою отворів у годинникових каменях, для свердління алмазу використовуються твердотільні імпульсні лазери.

Лазерне свердління широко застосовується при отриманні отворів у матеріалах, які мають підвищену крихкість. Як приклад можна навести підкладки мікросхем, виготовлені з глиноземної кераміки. Через високу крихкості кераміки механічне свердління виконується на "сирому" матеріалі. Обпалюють кераміку вже після свердління. При цьому відбувається деяка деформація виробу, спотворюється взаємне розташування висвердлених отворів. При використанні "лазерних свердел" можна спокійно працювати з керамічними підкладками, що вже пройшли випал.

Цікаве застосування лазера і як універсального паяльника. Припустимо, що всередині електронно-променевої трубки сталася аварія - перегорів або обірвався який-небудь провід, порушився контакт. Трубка вийшла з ладу. Здавалося б, поломка не виправно, адже ЕПТ являє собою пристрій, всі внутрішні компоненти якого знаходяться у вакуумі, всередині скляного балона, і ніякому паяльника туди не проникнути. Однак, лазерний промінь дозволяє вирішувати і такі завдання. Направляючи промінь в потрібну точку і належним чином фокусує його, можна здійснити зварювальну роботу.



Лазери з плавною перебудовою частоти служать основою для спектральних приладів з винятково високою роздільною силою.

Наприклад, нехай потрібно дослідити спектр поглинання якої-небудь речовини. Вимірявши величину лазерного потоку, що падає на об'єкт, що вивчається, і пройшов через нього, можна обчислити значення коефіцієнта поглинання. Перебудовуючи частоту лазерного випромінювання, можна, отже, визначити коефіцієнт поглинання як функцію від довжини хвилі. Роздільна здатність цього методу збігається, очевидно, з шириною лінії лазерного випромінювання, яку можна зробити дуже малою.

Ширина лінії, що дорівнює, наприклад, 10^{-3} см $^{-1}$ забезпечує таку ж роздільну здатність, як і дифракційна решітка з робочою поверхнею 5 м., а виготовлення таких ґрат являє собою майже нездійсненне завдання. Лазери дозволили здійснити світлолокатор, за допомогою якого відстань до предметів вимірюється з точністю до декількох міліметрів. Така точність недоступна для радіолокаторів. В даний час у світі існує кілька десятків лазерних локаційних систем. Багато з них вже мають космічне значення. Вони здійснюють локацію Місяця і геодезичних штучних супутників Землі. Як приклад можна назвати лазеро-локаційних систему Фізичного інституту імені П. М. Лебедева. Похибка вимірювання при використанні даної системи складає 40 см. Проведення таких досліджень організовується для того, щоб точніше довідатися відстань до Місяця протягом деякого періоду часу, наприклад, протягом року

Досліджуючи графіки, що описують зміну цієї відстані з часом, вчені отримують відповіді на ряд питань, що мають наукову важливість. Імпульсні лазерні локатори сьогодні застосовуються не тільки в космонавтиці, але і в авіації. Зокрема, вони можуть грати роль наукових вимірників висоти. Лазерний висотомір застосовувався також в космічному кораблі "Аполлон" для фотографування поверхні Місяця. Втім, у оптичних лазерних систем є і свої слабкі сторони. Наприклад, не так просто за допомогою гостронаправленої променя лазера виявити об'єкт, тому що час огляду контрольованій області простору виявляється занадто великим. Тому оптичні радіолокаційні системи використовуються разом з радіолокаційними. Останні забезпечують швидкий огляд простору, виявляють мета, а потім оптична система вимірює параметри мети і здійснює стеження за нею.



Великий інтерес представляють останні розробки в галузі створення телевізора на основі лазерних технологій. Згідно з очікуваннями фахівців, такий телевізор повинен відрізнятися надвисоким якістю зображення. Варто також відзначити використання лазерів у вже давно відомих принтерах високої якості або лазерних принтерах. У цих пристроях лазерне випромінювання використовується для створення на спеціальному світлочутливому барабані прихованої копії друкованого зображення.

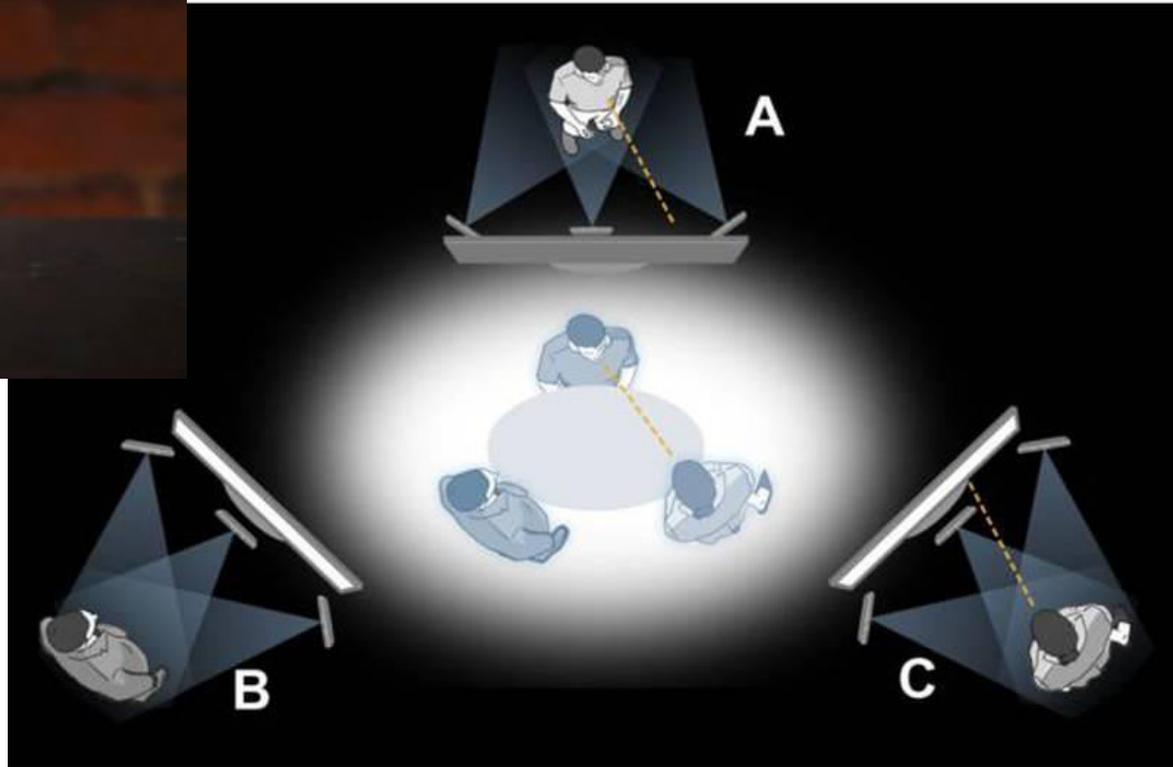


Застосування голографії

Як вже було зазначено, первинне завдання голографії полягала в отриманні об'ємного зображення. З розвитком голографії на товстошарові пластини виникла можливість створення об'ємних кольорових фотографій. На цій базі досліджуються шляхи реалізації голографічного кіно, телебачення і т. д. Один з методів прикладної голографії, іменованій голографічної інтерферометрії, знайшов дуже широке поширення. Суть методу в наступному. На одну фотопластинку послідовно реєструються два інтерференційні картини, що відповідають двом різним, але мало відрізняється станам об'єкта, наприклад, при деформації. При просвічуванні такої "подвійної" голограми утворюються, очевидно, два зображення об'єкта, змінені відносно один одного в тій же мірі, що й об'єкт у двох його станах.

Відновлені хвилі, що формують ці два зображення, когерентні, інтерферують, і на новому зображенні спостерігаються інтерференційні смуги, які й характеризують зміну стану об'єкта. В іншому варіанті голограма виготовляється для якогось певного стану об'єкта. При просвічуванні її об'єкт не видаляється і проводиться його повторне освітлення, як на першому етапі голографування. Тоді знову виходить дві хвилі, одна формує голографічне зображення, а інша поширюється від самого об'єкта. Якщо тепер відбуваються якісь зміни у стані об'єкта (у двох послідовних хвилях виникає різниця порівняння з тим, що було під час експонування голограми), то між зазначеними ходом, і зображення покривається інтерференційними смугами.

Описаний спосіб застосовується для дослідження деформацій предметів, їх вібрацій, поступального руху і обертань, неоднорідності прозорих об'єктів і т. п. Інтерференційна картина наочно свідчить про відмінність деформацій, напружень у тілі, крутильні моменти, розподіл температур і т. д. Голографія може застосовуватися для забезпечення точності обробки деталей.



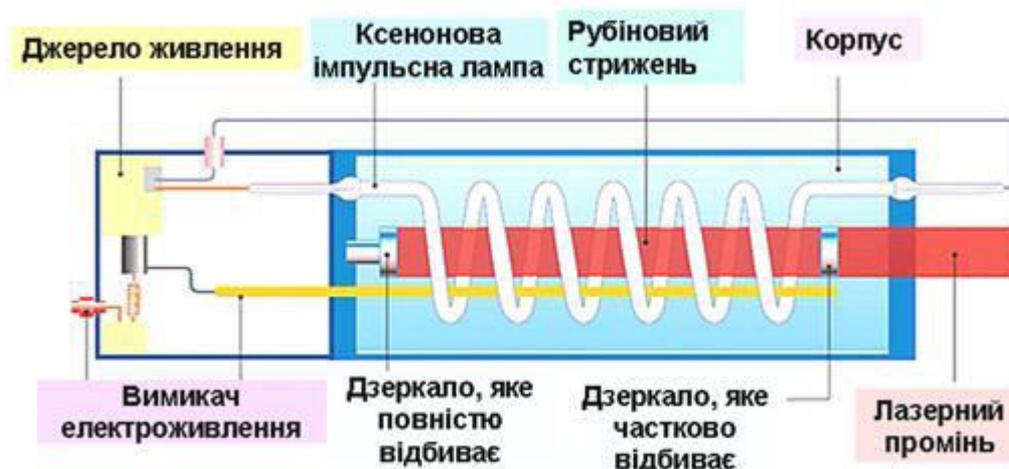
Лазери як засоби запису і обробки інформації

В даний час лазерні технології активно використовуються як засіб запису і обробки великих обсягів інформації. І тут слід відзначити появу принципово нового виду носія інформації - компакт-диска. Як ми знаємо, в аудіо-та відеокасетах, які до недавнього часу були, мабуть, найпоширенішим засобом збереження даних, використовувалися магнітні явища. До компакт-диску ж застосований інший підхід. Сам диск (CD-ROM) являє собою пластину круглої форми, на одній стороні якого нанесено маркування диска. Інша ж сторона є робочою і на перший погляд вона абсолютно гладка. Однак, це не так, тому що якщо б це було так, то ні про яке збереженні інформації не могло б бути й мови.

Всередині спеціального пристрою робоча поверхня диска як би сканується лазерним променем невеликої потужності (як правило 0,14 мВт при довжині хвилі 790 нм.). При такому скануванні визначається, що знаходиться усередині плями лазерного променя - поглиблення чи ні? Не вдаючись у комп'ютерну техніку можна тільки сказати, що наявність поглиблення відповідає логічній одиниці, а в усіх комп'ютерних технологіях використовуються тільки два стани - НУЛЬ і ОДИНИЦЯ. Далі використовуючи спеціальні таблиці можна розшифрувати послідовність цих нулів та одиниць і отримати вихідну інформацію. Запис таких дисків проводиться також за допомогою лазерів, але тут мова йде про набагато більшої потужності лазера.

Завдяки тому, що випалювання пітів (канавок) на поверхні диска проводиться за допомогою лазера, можна досягти дуже великої щільності запису інформації, так як діаметр лазерного променя, а, отже, і пита дуже малий.

Цікаве застосування голографії в якості носія інформації. Часто необхідно отримати об'ємне зображення предмета, якого ще не існує, і, отже, не можна одержати голограму такого предмета оптичними методами. У цьому випадку голограма розраховується на ЕОМ (цифрова голограма) і результати розрахунку відповідним чином переносяться на фотопластинку. З отриманої таким способом машинної голограми об'ємне зображення предмета відновлюється звичайним оптичним способом. Поверхня предмета, отриманого з машинної голограмі, використовується як еталон, з яким методами голографічної інтерференції проводиться порівняння поверхні реального предмета, виготовленого відповідними інструментами.



Голографічна інтерферометрія дозволяє зробити порівняння поверхні виготовленого предмета і еталона з надзвичайно великою точністю до часток довжини хвилі. Це дає можливість виготовляти з такою ж великою точністю дуже складні поверхні, які було б неможливо виготовити без застосування цифрової голографії і методів голографічної інтерферометрії. Само собою зрозуміло, що для порівняння еталонної поверхні з виготовленої не обов'язково відновлювати оптичним способом машинну голограму. Можна зняти голограму предмета, перевести її на цифрову мову ЕОМ і порівняти з цифровою голограмою. Обидва ці шляхи в принципі еквівалентні. Особливості голограм як носіїв інформації роблять дуже перспективними розробки по створенню голографічної пам'яті, яка характеризується великим обсягом, надійністю, швидкістю прочитування і т. д.

