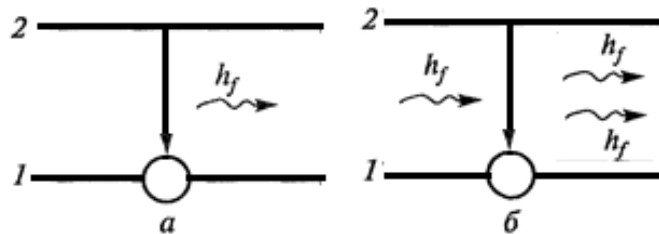


Активни диелектрици: диелектрици за оптична генерация

Атомите в молекулите се разполагат на различни енергетични нива. Ако възбуденият атом самопроизволно премине от по-високоенергетично ниво 2 на по-ниско ниво 1, той излъчва фотон, т.е. квант енергия – фиг. 1 а. Такова излъчване се нарича спонтанно или самопроизволно.



Фиг. 1. Схема на квантови преходи в система с две енергетични нива:
а – спонтанно излъчване, б – стимулирано излъчване.
1 – по-ниско основно ниво, 2 – по-високо енергетично ниво.

При това енергията на атома намалява:

$$W = W_2 - W_1,$$

където W е енергията, с която намалява енергията на електрона, преминал на по-ниско енергетично ниво, W_2 е енергията на по-високо енергетичното ниво, W_1 - е енергията на по-ниско енергетичното ниво.

Разликата в енергиите W се излъчва във вид на квант с честота

$$f = W/h,$$

където h е константата на Планк.

Спонтанните излъчвания на различните атоми не са свързани едно с друго и затова спонтанното излъчване е некохерентно.

Ако на атом се въздейства с фотон отвън, например спонтанно излъчен фотон от съседен атом, то излъчването на възбудения атом се нарича индуцирано или стимулирано – фиг. 1 б. При това се изпускат едновременно два фотона с еднакви честоти. Ако тялото съдържа много възбудени атоми, то тези два фотона принуждават излъчване и от други атоми. В този случай сумарното излъчване на тялото е кохерентно, т.е. излъчванията на различните атоми са свързани един с друг.

Възможността за стимулирано излъчване наред със спонтанното е предсказано от Айнщайн, а първите прибори на основата на стимулираното излъчване са създадени в средата на 20 век в бившия СССР от Н. Басов и А. Прохоров и в САЩ – от Чарлз Таунс.

В нормални условия на топлинно равновесие повечето частици се намират на ниско енергетично ниво. Случайно възбудените атоми се освобождават от допълнителната енергия чрез спонтанно излъчване и преминават на ниско енергетично ниво.

За да се получи кохерентно излъчване, т.е. съгласувано протичащ във времето светлинен поток, необходимо е да се запълни горното енергетично ниво с допълнителен брой частици. Този процес се нарича обратна или *инверсна населеност*. Електромагнитна вълна с честота f , преминаваща през среда с инверсна населеност, стимулира прехода на частиците от горното ниво на долното основно ниво. Отделящите се при това кванти

енергия на стимулирано излъчване увеличават енергията на външната електромагнитна вълна.

На това явление е основана работата на квантовите генератори и усилватели.

За създаването на инверсна населеност в системата с две енергетични нива, тя се облъчва с електромагнитно поле от външен източник с резонансна честота $f = W/h$. Тъй като в изходното състояние повечето частици се намират на долното основно ниво 1, то под действие на електромагнитното поле става тяхното частично преместване на горното ниво 2 и се изравнява броят на частиците на ниво 1 и 2. Процесът на възбуждане на частици чрез тяхното преселване на по-високо енергетично ниво под действието на външно поле се нарича *напомпване*, а външното поле - *напомпващо поле*. След изключване на външното напомпващо поле на горното ниво има допълнителен брой частици в сравнение с равновесния и системата е подготвена към стимулирано излъчване.

Времето, за което системата отново се връща в равновесно състояние се нарича *време на релаксация*.

Недостатъкът на системата с две нива е нестабилността на възбуденото състояние, т.к. за времето на релаксация системата спонтанно преминава в основно състояние. Затова за работа на квантовите прибори за генерация и усилване на електромагнитни вълни – мазери (СВЧ диапазон 300 MHz (1m) – 300GHz (1mm)) и лазери (оптичен диапазон – UV-VIS-IR), се използват системи с четири нива.

LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Усилване на светлината чрез стимулирано излъчване на лъчение

MASER — Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Микровълново усилване чрез стимулирано излъчване на лъчение

Към активните диелектрици за квантови прибори се поставят следните изисквания:

- оптична еднородност за намаляване на загубите при излъчване вътре в диелектрика,
- висока топлопроводност, изключваща прегряване на работния елемент,
- много голям квантов добив – отношението на излъчената енергия кванти на работната честота към погълнатата от източника енергия на напомпване,
- технологичност, т.е. способност на диелектрика да получи необходимата форма.

Като активни диелектрици за оптическа генерация се използват голямо количество твърди, течни и газообразни материали, съдържащи активиращи примеси (йони като Cr^{3+} , Nd^{3+} , Fe^{3+} , Ni^{3+} , Cd^{3+} , U^{3+}).

Материали за твърдотелни лазери. Като активни елементи на твърдотелните лазери се използват кристални диелектрици като високотемпературните монокристали на окисите ZnO , Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , волфрамати, молибдати, ниобати и др. кислородни съединения, монокристалите на флуоридите CaF_2 , BaF_2 , LaF_2 , MnF_2 , а също и стъкла на основата на кислородни съединения и флуориди. Най-широко приложение от монокристалите са получили рубинът, гранатът и фруоритът.

Рубинът е кристал Al_2O_3 с бледорозов цвят, в който част от йоните на алуминия Al^{3+} са заместени от йони на хрома Cr^{3+} .

За активирането на рубина в стопилката при изтеглянето на монокристал се въвежда например 0,05% хромен оксид. Йоните на хрома заместват част от йоните на алуминия и образуват в кристала съответните енергетични нива. Горните нива образуват ивица на поглъщане, където при напompване се качват йоните на хрома. На тези нива те се намират във възбудено състояние примерно 500 μs , а след това голяма част преминава на метастабилни нива (относително устойчиви състояния). Този преход не се съпровожда с излъчване, т.к. отделената енергия се разсейва в обема на материала във вид на топлина. Времето на живот на частиците на метастабилното ниво е сравнително голямо и е примерно 3000 μs . Преходът от метастабилното ниво на основното става в режим на генерация с отделяне на енергия във вид на тънък насочен лъч фотони, имащ дължина на вълната на излъчване 0,694 μm .

Активираният рубин има висок квантов добив (70%), голяма механична здравина, висока топлопроводимост, издръжливост към въздействия на мощни лъчения, химична издръжливост, възможност за получаване на сравнително големи оптически еднородни монокристали.

Итриевоалуминиев гранат $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, легиран с неодим Nd^{3+} , имащ дължина на вълната на излъчване 1,06 μm , висока механична издръжливост, добра топлопроводимост, ниска гранична енергия на възбуждане.

Поради тези свойства гранатът се използва в лазери, работещи в режим на непрекъсната генерация с изходна мощност няколкокостотин вата и в честотен режим с честота на повторение на импулсите от 5 kHz до 1 GHz и в режим на единични импулси с импулсна мощност десетки мегавата.

Калциевият флуорид CaF_2 обикновено се активира с уран. При концентрация на U^{3+} 0,05% дължината на вълната на излъчване е 2,5 μm .

Специалните стъкла се активират с йони на редкоземните метали. Активиранияте стъкла се изготвят от силикатни, фосфатни, боратни, флуорни, телурови, германиеви и др. стъкла. Като активатори в стъклomasата се въвежда най-често 3.5% неодимов оксид Nd_2O_3 . Такова съдържание осигурява висока интензивност на излъчване на фотоните и относително голямо време на метастабилното състояние – до 1000 μs . За осигуряване на фотохимичната издръжливост на стъклото в ултравиолетовата област на излъчване на източника на напompване в неговия състав се въвежда ториев оксид (~0,1%).

Предимство на активните елементи от активирани стъкла са високата оптическа еднородност на активния материал, малки загуби, технологичност, позволяваща изготвянето на образци с големи размери – 1 m и повече, възможност за масово производство на изделия със зададени свойства.

Активираният стъкло е едно от най-евтините лазерни материали. В сравнение с кристалите стъклото има следните недостатъци:

- ниска топлопроводимост,
- висок температурен коефициент на линейно разширение, което ограничава горната граница на мощността на квантовия прибор,
- сравнително слаба фотохимична устойчивост,
- ограничена прозрачност (0.33 μm – 0.45 μm),
- голяма ширина на спектъра на излъчване.

Активни елементи от неодимово стъкло се изготвят във вид на пръчки с диаметър 7 mm и дължина 90 mm или влакна от сноп влакна.

В качеството на активни елементи за лазери се използват също така и ситал, който взема средно положение между монокристалите и стъклата.

Материали за течни лазери. Тези материали имат следните предимства в сравнение с лазерните кристали и стъкла:

- лазерните кристали и стъкла се изготвят при висока температура, поради което в тях се съдържат „замръзени“ дефектни структури, намаляващи степента на тяхната оптична еднородност. Течностите нямат такива дефекти;
- пределната мощност на лазерите зависи от техните размери, а максималните размери на монокристалите са ограничени, докато течностите позволяват да се създаде всякакъв обем активна среда;
- при запалването на твърдотелния лазер, голямата мощност може да разруши работното тяло, докато в течността това не е възможно;
- в течните структури отсъстват загуби, свързани с нееднородността и дефектността на структурата на активното вещество. Течните активни среди имат постоянни оптични характеристики;
- материалите за течните оптични квантови генератори са по-евтини от твърдотелните и по-прости за изготвяне.

В качеството на активни среди в течните кристали се използват разтвори на неорганични редкоземни съединения, дикетонни разтвори на редкоземни елементи (европий, тербий) в органични разтворители.

В лазерите за изследователски цели се използват разтвори на някои органични багрила (родамин, кумарин и др.), наборът от които позволява да се получат излъчвания с дължина на вълната от 0,35 μm до 1,1 μm . Лазерите на основата на багрила се произвеждат с пренастройваема честота на излъчване, което дава възможност да се използват в спектроскопията.

Материали за газови лазери. Тези материали имат най-голямо оптично съвършенство, т.к. молекулите на газа значително по-слабо взаимодействат една с друга в сравнение с течностите и твърдите тела.

Газовите лазери имат следните предимства в сравнение с твърдотелните и течните лазери:

- за активиране на газа се използва електрическо напompване. Токът, протичащ през газа при пробив възбужда молекулите, а след това те преминават в основно състояние, което се съпровожда с излъчване;
- малка плътност на газовата среда, вследствие на което енергетичните нива в газовия спектър са много тесни;
- малката плътност на газовата среда, осигурява висока оптична еднородност, светлинният сноп в газа практически не се разсейва. Затова излъчванията на газовите лазери се характеризират с висока монохроматичност и насоченост.

Към недостатъците на газовите лазери се отнася невъзможността за получаване на големи мощности на излъчване поради малката плътност на газовата активна среда.

В маломощните лазери с висока монохроматичност на излъчването се използват газове с ниска диелектрична устойчивост. Нужната система от енергетични нива обикновено се получава в смеси от газове. Така хелий-неоновата смес, възбудена от електрични заряди, излъчва червена светлина с дължина на вълната $0,63 \mu\text{m}$ или инфрачервено излъчване с дължина на вълната $1,153 \mu\text{m}$.

При работа мощните лазери в инфрачервения диапазон използват преходите на трептене и въртене на молекулните газове.

За лазерно рязане и сварка, лазерно закаляване на металите се произвеждат лазери на въглероден диоксид CO_2 , с дължина на вълната $10,6 \mu\text{m}$ с непрекъсната мощност на излъчване над 1 kV , при коефициент на полезно действие от 10% до 30%.

Газовите лазери и мазерите се използват за най-прецизни измервания, например в еталоните за дължина и за време.