

## КЛАСИФІКАЦІЯ ЛАЗЕРІВ

- за типом активного середовища:

- *твердотілі;*
- *газові;*
- *рідинні;*
- *напівпровідникові;*
- *плазмові.*

- за типом накачування:

*види накачування:*

- оптична;
- електричний розряд в газах;
- електроіонізаційна;
- теплова (газодинамічна);
- хімічна [1-3].

## ТВЕРДОТІЛІ ЛАЗЕРИ

Твердотілі лазери – це такі лазери, які використовують кристалічний або аморфний діелектрик.

*Основні особливості твердотілих лазерів:*

- висока концентрація часток: до  $10^{19}$  і навіть до  $10^{21}$  см<sup>-3</sup>;
- високе питоме енергознімання;
- генерація при малих довжинах;
- оптична однорідність (поступається газовим лазерам);
- ширина лінії люмінесценції (одиниці А° –десятки А°)
- основний тип накачування – оптичне накачування.

*Активне середовище твердотілих лазерів:*

Матриця (основа) + активатор (домішка).

Активатор зазвичай від доль до декількох відсотків по відношенню до матриці.

*Принцип дії твердотілих лазерів.*

У 2-х рівневій системі оптичним накачуванням інверсію не створити.

На практиці використовують 3-х або 4-х рівневі системи.

Як рівень 3 в 3-х рівневій схемі, і рівня 4 в 4-х рівневій схемі можуть використовуватися декілька рівнів.

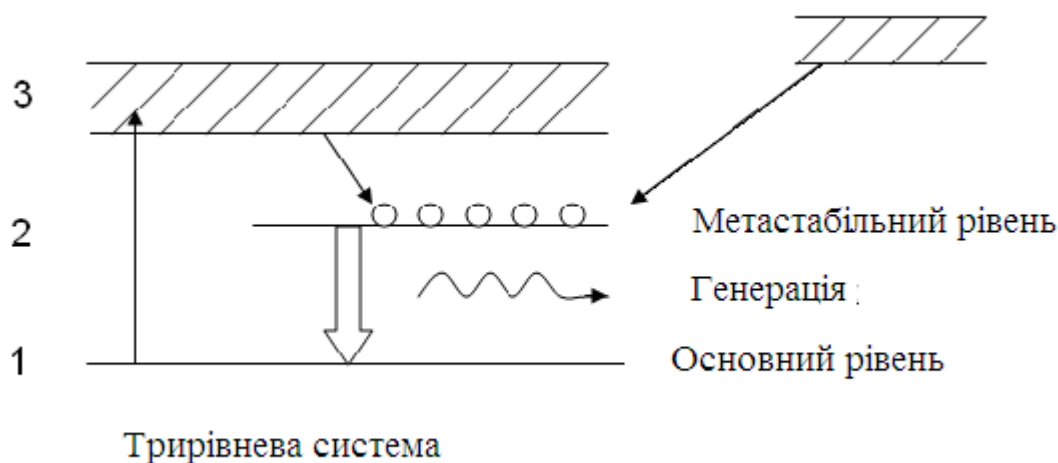


Рисунок 1

Нижчим порогом генерації володіє 4-х рівнева схема.

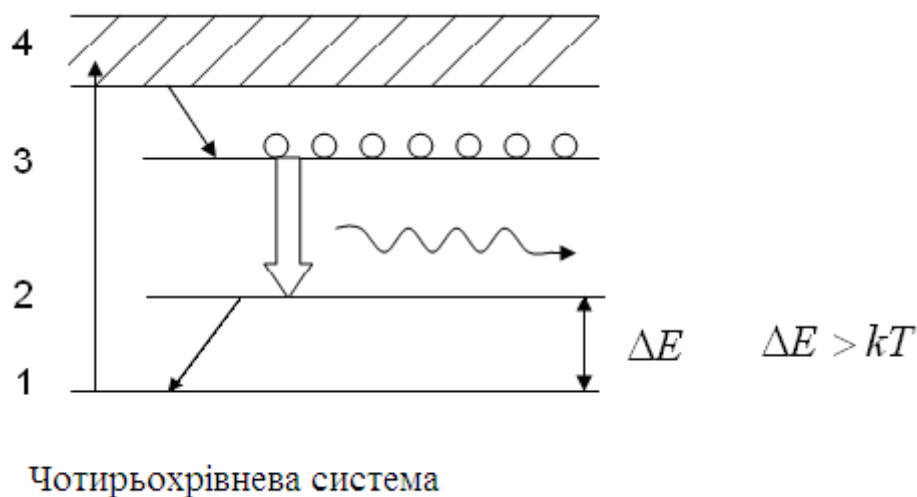


Рисунок 2

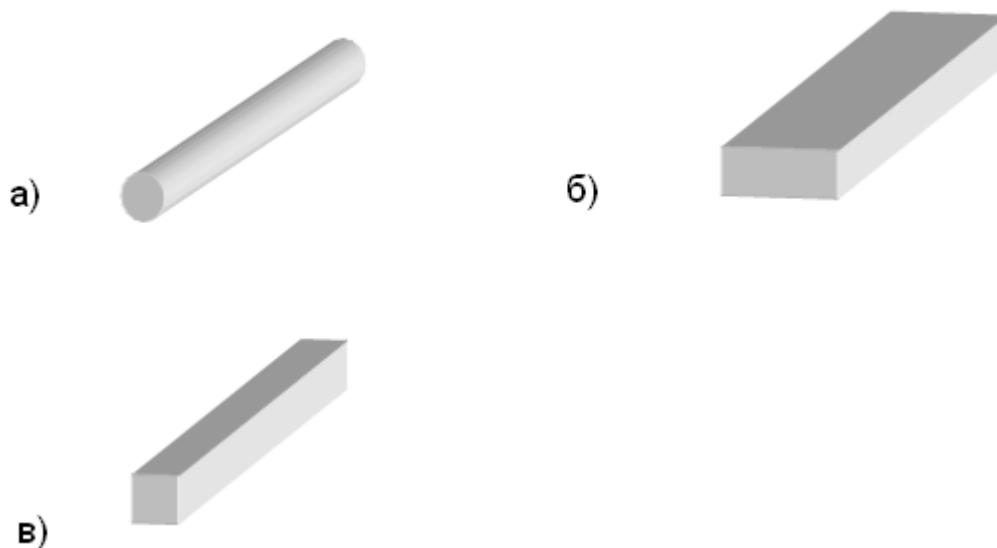
Як матриці використовується широкий клас речовин, зокрема, солі вольфрамової, молібденової і плавикової кислот ( $\text{H}_2\text{WO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{MoO}_4$ ,  $\text{HF}$ ), корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ітрієві гранати  $\text{Y}_3\text{Me}_5\text{O}_{12}$  (де  $\text{Me}$  –  $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ), наприклад  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  – ІАГ, стекла різних складів [1-7].

Як активатор – хром, кобальт, нікель, титан, а також багато рідкоземельних елементів.

Приклади ефективних лазерних середовищ:

$\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$ ;  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$ ;  $\text{CaF}_2:\text{Nd}^{3+}$ ; скло: $\text{Nd}^{3+}$  і т.д..

Активні елементи твердотілих лазерів мають різні форми:



Найчастіше використовується форма а).

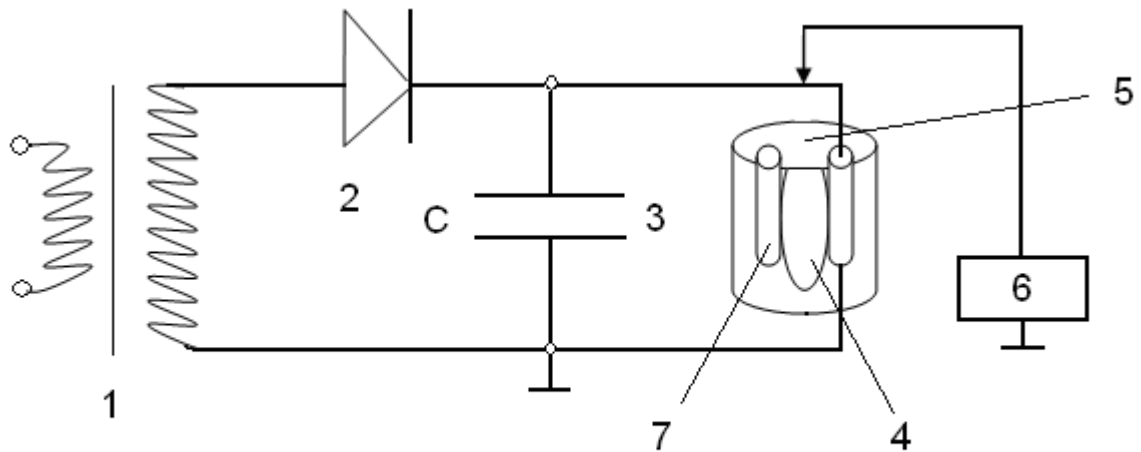
### Системи оптичного накачування твердотілих лазерів.

*Система оптичного накачування призначена для створення інверсії в активних середовищах.*

Використовується як когерентне (лазерна) накачування, так і некогерентна (лампова).

В разі некогерентного (ламповою) накачування, система оптичного накачування складається з джерела оптичного випромінювання (спеціальної лампи), освітлювача (відбивача) і електричного блоку живлення, що живить джерело оптичного випромінювання.

Наприклад, система оптичного накачування може включати наступні елементи [6-8]:



Система оптичної накачки

Рисунок 3

1. підвищуючий трансформатор;
2. випрямляч;
3. ємкiнь (ємнісний накопичувач);
4. лампа накачування;
5. освітлювач;
6. система підпалу імпульсної лампи;
7. активний елемент.

Використовуються спеціальні імпульсні лампи, а також лампи безперервного свічення.

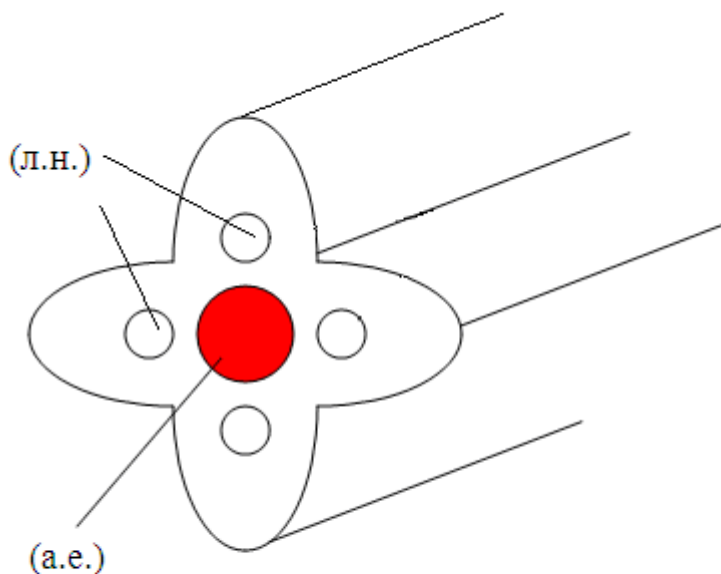
Енергія накачування не має бути більше граничної енергії для лампи.

$U_c < U_{пр}$ , де  $U_{пр}$  – напруга самопробоя лампи.

Система підпалу (6) управляє моментом початку накачування (розряду в лампі).

Лампи накачування найчастіше мають форму циліндра з електродами. Оскільки лампа випромінює на всі боки, дуже мала доля її випромінювання потрапляє на активний елемент. Тому необхідний відбивач (освітлювач), який би направив по можливості велику частку випромінювання на активний елемент. Прикладами таких освітлювачів є еліптичний циліндр і круговий циліндр, внутрішні поверхні яких мають високі коефіцієнти віддзеркалення.

В разі потужних лазерів потрібне багатолампове накачування і елемент великого діаметру. На Рис. 4 схемний показаний прикмет такої системи, уздовж центральної осі якої розташований активний елемент (а.е.), а уздовж фокальних ліній напівеліпсів – лампи накачування (л.н.):



Приклад багатолампової накачки  
активного елемента (а.е)

Рисунок 4

**Система накачування повинна забезпечувати:**

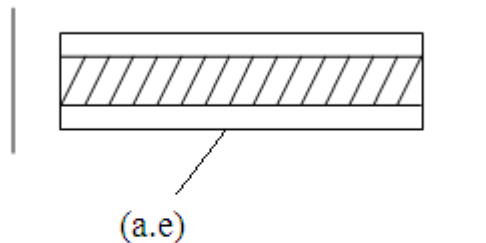
- високу ефективність передачі випромінювання від лампи накачування до активного елемента;
- високу однорідність (рівномірність) накачування в об'ємі активного елемента (як по довжині, так і в поперечному перетині).

Нерівномірність оптичного накачування активного елемента (особливо в поперечному перетині), наводить до термооптичеських спотворень унаслідок нерівномірності його нагріву, і сильно впливає на характеристики випромінювання лазерів (поріг генерації, кутову расходимість, енергію випромінювання) і навіть може наводити до зриву генерації. Термооптичеські спотворення виникають із-за залежності

коефіцієнта заломлення від теплопередачі і нерівномірності її в активному елементі.

Поява термооптичних спотворень, еквівалентно зміні конфігурації резонатора, оскільки оптична довжина резонатора рівна .

У твердотілих лазерах сильно виявляються термооптичні ефекти, оскільки показник заломлення  $n$  сильно залежить від температури  $T$ . На Рис. 5 показаний випадок, коли центральна область активного елементу має вищу температуру (заштриховано) в порівнянні з периферійною областю.



Приклад нерівномірного нагрівання активного елементу (а.е)

Рисунок 5

До появи термооптичних спотворень твердотілих лазерів наводить, окрім нерівномірності накачування, охолодження бічної поверхні, оскільки теплопровідність обмежена, і центральна частина активного елементу матиме велику температуру, чим бічна поверхня.

Для збільшення рівномірності накачування використовується, зокрема, так звана іммерсійна оболонка.

$$r_{a.c.} = \frac{r_{u.o.}}{n}$$

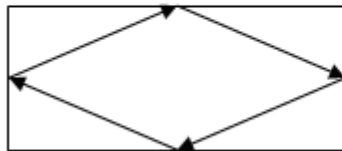
Вона ж збільшує і щільність енергії накачування в активному елементі, оскільки зростає розмір поперечного перетину, що «захоплює» випромінювання накачування.

Одним з недоліків твердотілих активних елементів з полірованою бічною поверхнею є освіта в них паразитних типів коливань, так званих мод,

що «шепчуть», приклади яких показані на Рис. 6. Ці моди можуть виникати за рахунок повного віддзеркалення від поверхонь активного елементу і наводять до значного погіршення характеристик випромінювання.



Кільцеві поперечні "шепотячі моди"



Повздовжні "шепотячі моди"

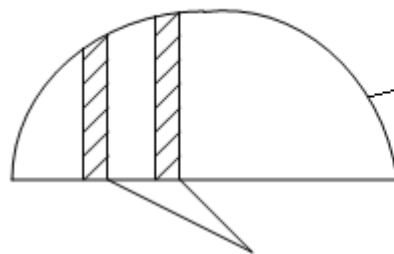
Приклад "шепотячих мод"

Рисунок 6

Це шкідливе явище «з'їдає» інверсію і зменшує енергію генерації у напрямі основного випромінювання, тобто погіршує характеристики випромінювання.

Для боротьби з ним використовують іммерсійні оболонки, а так само роблять шорсткою бічну поверхню (повністю або частково – смужка і кільця) активного елементу.

Недолік лампового накачування – її спектр значно ширше за смуги поглинання (Рис. 7).



Спектр накачки

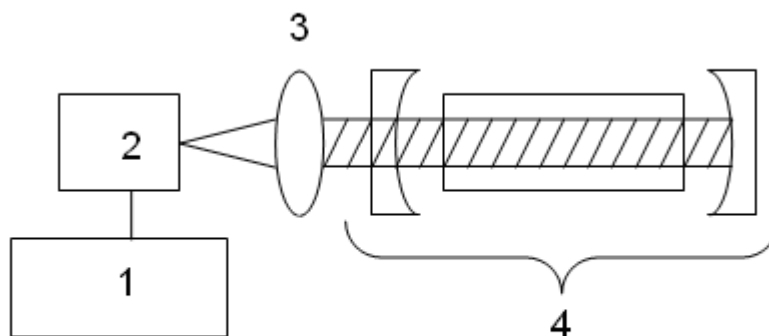
Смуги поглинання активного елементу

Співвідношення спектру випромінювання ламп накачки та смуг поглинання активного елементу

Рисунок 7

При когерентному (лазерною) накачуванні можна ідеально погоджувати випромінювання накачування із смугами поглинання.

Когерентне накачування є найбільш ефективним з точки зору узгодження спектрів. Для когерентного накачування твердотілих лазерів найширше використовуються напівпровідникові лазери. Приклад такого накачування показаний на рис.14 [1-4].



Приклад когерентної накачки твердотілого лазера

Рисунок 8

1. блок живлення напівпровідникового лазера;
2. напівпровідникового лазер;
3. оптика, що погоджує;
4. накачуваний т.т. лазер.

Розглянемо як приклад робочі схеми деяких твердотілих лазерів.

### Лазер на рубіні.

Активним середовищем лазера є  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$  - рубін, де як активні центри використовуються іони хрому  $\text{Cr}^{3+}$ , введеного як активатор в матрицю  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Лазер працює за трирівневою схемою, показаною на Рис. 9 [1-8].



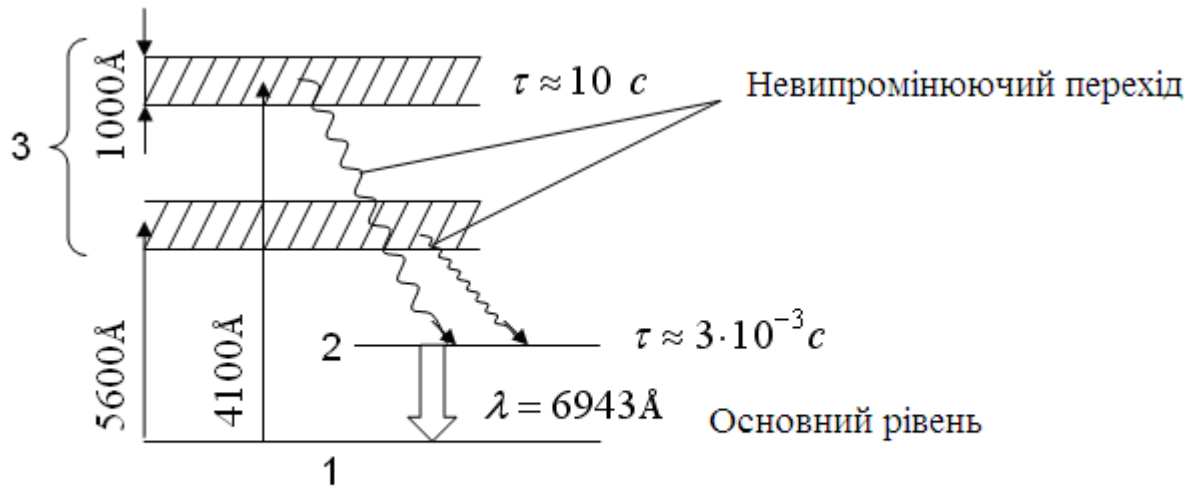


Схема робочих рівнів рубінового лазера

Рисунок 9

Енергія генерації в імпульсі – до 100 Дж.

**Лазер на неодимовому склі.**

Активним середовищем лазера є стекла різних складів, де як активні центри використовуються іони неодима  $Nd^{3+}$ , введеного як активатор в скляну матрицю, лазер якої працює за чотирьохрівневою схемою, показаною на Рис. 10.

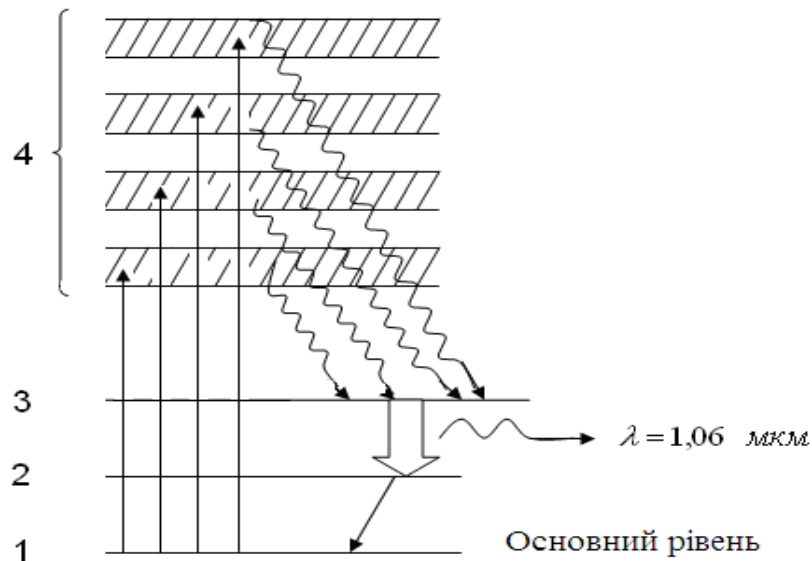


Схема робочих рівнів лазера на неодимовому склі

Рисунок 10

## Лазер на ІАГ.

Активним середовищем лазера є  $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$  - ітрій – алюмінієвий гранат, де як активатор використовуються іони неодима ( $Nd^{3+}$ ), введеного в ІАГ як активатор. Робота лазера аналогічна лазеру на неодимовому склі. Лазер працює за чотирьохрівневою схемою.

Можлива генерація в безперервному режимі (до 500 Вт-1кВт) [1-8].

## Твердотілі мікролазери

Мініатюрні лазери на твердому телі можуть бути реалізовані при великій концентрації часток – до  $10^{21} \text{ см}^{-3}$  (у десятки - сотні разів більше, ніж в ІАГ і склі). Накачування здійснюється світлодіодами або напівпровідниковими лазерами (когерентне накачування).

Матеріали, що дозволяють вводити високу концентрацію активатора:

- петнофосфат неодима  $NdP_5O_{14}$ ;
- тетрофосфат неодима калія  $KNdP_4O_{12}$ ;
- борат неодима-алюмінію  $NdAl_3(BO_3)_4$ ;
- тетрофосфат літію неодима  $LiNdP_4O_{12}$ ;

Потужність в імпульсі – декілька Вт .

Можуть забезпечувати одномодовий режим генерації, конкурують з напівпровідниковими лазерами. Можуть працювати в стабільному одночастотному режимі, забезпечують високу когерентність і монохроматичність випромінювання, мала залежність від температури.

- галієві для гадолінія-скандію гранати (ГСГГ) і ін.

В області стекол найбільш перспективними вважаються стекла КНФС (фосфатні для літію-неодима-лантану стекла). Концентрація Nd до  $10^{21} \text{ см}^{-3}$ .

## Перебудовувані твердотілі лазери

Перебудовувані твердотілі лазери підрозділяють на 3 групи:

## 1. Кристали, активовані іонами перехідних елементів.

### Приклади:

- Олександрит  $\text{BeAl}_2\text{O}_4:\text{Cr}^{3+}$  (0.70-0.82 мкм);
- $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$  (0.68-0.93 мкм);
- $\text{KZn}_3:\text{Cr}^{3+}$  (0.78-0.86 мкм);
- $\text{ZnWO}_4:\text{Cr}^{3+}$  (0.9-1.1 мкм).

### Лазери на центрах забарвлення (ЛЦО).

Центрами забарвлення (ЦЗ) називаються дефекти кристалічної решітки, що поглинають світло в спектральній області, де власне поглинання кристала відсутнє.

#### *Дефекти кристалічної решітки:*

- вакансії (видалені з вузлів кристалічної решітки іони);
- міжвузлові іони;
- домішкові атоми;
- іони.

Центри забарвлення мають різні позначення, відповідні типові дефекту. Так, наприклад, центри, обумовлені аніонними вакансіями, що захоплюють електрони, називають f центрами.

Працюють по 4-х рівневій схемі, володіють низьким порогом збудження, широкосмуговим спектром поглинання і люмінесценції.

Безперервні лазери використовують лазерне накачування. Лазери на ЦЗ можуть генерувати імпульси до субнаносекунд.

Перебудова 0.7-3.3 мкм.

- $\text{LiF}$  (0.62-1.25 мкм);
- $\text{NaF}$  (0.99-1.4 мкм);
- $\text{RbCl}:\text{Li}$  (2.55-3.28 мкм)

В даний час удосконалюються лазери на коштовних і напівдорогоцінних каменях (алмаз, сапфір, олександрит)