

## YOQUT LAZERI AHAMIYATI

Axrorov Ma'ruf Nasimjonovich

Assistent

Samarqand davlat tibbiyot universiteti

Samarqand, O'zbekiston

**Annotatsiya:** Lazerlarda ishlatiladigan qizg'ish rangli yoqut kristalining optik xususiyati va spektroskopiyasi ancha yaxshi o'rganilgan. Yoqut kristalining ikkita kuchli yo'l–yo'lyutilish spektri ko'zga ko'rinadigan spektral oraliqda joylashgan. Yoqut kristalining optik spektri xrom ionining energetik sathlari orasidagi o'tish bilan bog'langan. Yoqut kristalidan chiqayotgan lazer nuri dastasining kesimi odatda ko'p sonli ingichka va bir–biriga bog'liq bo'lmagan “ipchalardan” iborat bo'lib, har birining diametri 100 mikronlar atrofida bo'ladi. Shu sababli lazer nurining tarqalish burchagi nazariy jihatdan aniqlanadigan  $\lambda/D$  ( $D$ –lazer nuri dastasining diametri) qiymatidan o'n marta katta bo'ladi. Rezonatorning alohida konstruksiyasini va optik jihatdan yuqori darajada sifatli yoqut kristalini tanlab, ko'ndalang bir modali generatsiyaga erishilsa, generatsiyaning sochilish burchagi nazariy hisobga yaqin bo'ladi. Ekki rejimda ishlaydigan yoqut lazerining har bir impulsining quvvati  $20kVt$  ni tashkil qilsa, to'la energiyasi  $100Joulgacha$  bo'ladi. Gigant impulsli lazerning bir impulsi  $100MVt$  ni tashkil etadi (impuls generatsiyasining vaqti 10–20 nano sekund davom etadi). Agar impuls generatsiyasi yana qisqa bo'lib 10 piko sekund davom etsa, quvvati gigavattni tashkil etadi. Shunday qilib, yoqut lazeri ko'p modali erkin rejimda va gigant impulsli rejimda ishlaydi.

**Kalit so'zlar:** damlash, yorug'lik, optic, kristatl, burchak, ingichka, xrom oksidi, kogerent, chastota, energetik, spektr, mexanik.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ РУБИННОГО ЛАЗЕРА

Ахроров Маъруф Насимжонович

Ассистент

Самаркандский государственный медицинский университет

Самарканд, Узбекистан

**Аннотация:** Оптические свойства и спектроскопия красноватого рубинового кристалла, используемого в лазерах, хорошо изучены. Два сильных спектра излучения рубинового кристалла расположены в видимом диапазоне. Оптический спектр рубинового кристалла связан с переходом между энергетическими уровнями иона хрома. Сечение лазерного луча, выходящего из рубинового кристалла, обычно состоит из большого количества тонких и разрозненных «нитей», каждая диаметром около 100 микрон. Следовательно, угол рассеяния лазерного луча в десять раз больше теоретически определенного значения  $\lambda/D$  (где  $D$  — диаметр пучка лазерных лучей). Если генерация поперечного одномодового излучения достигается путем выбора специальной конструкции резонатора и оптически высококачественного рубинового

кристалла, то угол рассеяния генерации будет близок к теоретическому расчету. Если мощность каждого импульса рубинового лазера, работающего в двух режимах, составляет 20 кВт, то полная энергия достигает 100 Джоулей. Один импульс гигантского импульсного лазера составляет 100 МВт (время генерации импульса составляет 10–20 нано секунд). Если длительность импульса еще меньше, например, 10 пико секунд, то мощность составляет гигаватты. Таким образом, рубиновый лазер работает в многомодовом свободном режиме и в режиме гигантского импульса.

**Ключевые слова:** индуцированный, свет, оптический, кристалл, угол, тонкий, оксид хрома, когерентный, частота, энергетический, спектр, механический.

## RUBY LASER CHARACTERISTICS

Axrorov Maruf Nasimjonovich

Assistant

Samarkand State Medical University

Samarkand, Uzbekistan

**Abstract:** The optical properties and spectroscopy of the reddish ruby crystal used in lasers are well studied. The two strong emission spectra of the ruby crystal are located in the visible spectral range. The optical spectrum of the ruby crystal is associated with the transition between the energy levels of the chromium ion. The cross section of the laser beam emerging from the ruby crystal usually consists of a large number of thin and unconnected “threads”, each of which has a diameter of about 100 microns. Therefore, the scattering angle of the laser beam is ten times larger than the theoretically determined value  $\lambda/D$  ( $D$  is the diameter of the laser beam). If a transverse single-mode generation is achieved by selecting a special resonator design and a ruby crystal of high optical quality, the scattering angle of the generation will be close to the theoretical calculation. If the power of each pulse of a ruby laser operating in two modes is 20 kW, the total energy is up to 100 Joules. One pulse of a giant pulse laser is 100 MW (the pulse generation time lasts 10–20 nano seconds). If the pulse generation is even shorter, lasting 10 pico seconds, the power is gigawatts. Thus, the ruby laser operates in a multi-mode free mode and a giant pulse mode.

**Key words:** induced, light, optic, crystal, angle, thin, chromium oxide, coherent, frequency, energetic, spectrum, mechanical.

**Kirish.** Yoqut kristalli  $Al_2O_3-Sr_2O_3$  aralashmasidan iborat bo'lib, geksogonal, ya'ni romboedrik kristallik panjarasiga ega kristallik sistemaga kiradi. Bu kristall bir o'qli, optik jihatdan anizotropik, qattiqligi jihatidan olmosdan keyin turadi. Yoqut kristallining asosini  $Al_2O_3$ –korund (sapfir) tashkil etib, optik jihatidan tiniqdir. Sindirish ko'rsatkichi 1,76 ga teng. Sapfiring tarkibiga 0,05% xrom oksidi qo'shilsa, u qizg'ish rangli yoqut kristallini hosil qiladi. Yoqut kristallida alyuminiy ( $Al^{3+}$ ) ioni xrom ioni ( $Sr^{3+}$ ) bilan o'rin almashadi. Kristalldagi xrom ionlarining konsentratsiyasi

$N=2 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$  tashkil qiladi. Xrom oksidining konsentrasiyasini oshira borishi rubin kristalining rangini tusini o'zgartiradi, 8%  $\text{Sr}_2\text{O}_3$  dan oshishi bilan qizil yoqut kristali yashil rangli kristalga o'zgaradi.

**Tadqiqot usuli.** Xrom ionining sodda va ishlatiladigan energetik sathlari tasvirlangan. Shuni ham aytish kerakki, katta to'liqlik yutilish yo'lining qanotida kuchsiz, ammo yaqqol  $R$ , yutilish chizig'i ham mavjud. Uy haroratida o'sha  $R$ , yutilish chizig'ining spektral kengligi  $16 \text{см}^{-1}$  ga teng. Yutilish spektrining hosil bo'lishi xrom ionining asosiy energetik sathdan yuqorida joylashgan  $^2\text{Ye}$  energetik sathga o'tishi bilan tushuntiriladi. Oktaedrik kristall maydoni ta'sirida  $^2\text{Ye}$  sath ikkita energetik sathlarga parchalangan va energetik sathlar oralig'i  $29 \text{см}^{-1}$  ni tashkil etadi.  $77\text{K}$  da  $^2\text{Ye}$  ning nozik strukturasini kuzatiladi va ikki chastotali lazer nurlanishini hosil qiladi. Past temperaturada lyuminessensiya nurlanish spektri ham ikkita spektral chiziqni hosil qiladi. Uy haroratida ( $300\text{K}$ ) lyuminessensiya chizig'ining spektral kengligi  $11 \text{см}^{-1}$  ni va  $71\text{K}$  da esa  $0,1 \text{см}^{-1}$  ni tashkil qiladi.  $^2\text{Ye}$  energetik sath metastabil holat bo'lib elektronning yashash vaqti  $300\text{K}$  da  $\tau_{o,r}=2,9 \text{ms}$ ,  $77\text{K}$  da esa  $4,3 \text{mks}$ .  $\text{Ye}$  energetik sathda  $2A$  energetik sathga qaraganda yashash vaqti kichik, bu esa  $\text{Ye}$  metastabil holatda inversion ko'chganlik zichligini oshiradi. Xrom ionning asosiy energetik sathi  $^4A_2$  ham ikkita energetik sathga ajralgan va bu energetik sathlarning oralig'i  $0,39 \text{см}^{-1}$  ga teng.

Yoqut lazeri birinchi marta 1960 yilda ishga tushirildi va hozirgi kunda ham u o'ziga diqqat – e'tiborini jalb qilib kelmoqda. Bu lazer ko'zga ko'rinadigan kogerent yorug'lik ( $\lambda=694,3 \text{nm}$ ) nurini chiqaradi. Yoqut kristalidan sterjen (qalamcha) tayyorlandi va sterjenning kesimlari juda silliq o'zaro parallel bo'ladi. Yoqut kristali panjarasida joylashgan xrom atomining energetik sathlari tasvirlangan. Xrom ionlarini o'yg'otish uchun optik damlashdan foydalaniladi. Chaqmoq lampasidan tarqalayotgan boy spektrli yorug'lik nurlari Yoqut kristalida yutilib, xrom ionlarini asosiy energetik sath  $^4A_2$  dan  $^4F_2$  va  $^4F_1$  sathlarga ko'chiradi. Ionlarning uchinchi energetik sathdan ikkinchi energetik sathga o'tish ehtimoli katta. ( $W_{32}=0,6 \cdot 10^8 \text{s}^{-1}$ ) bo'lgani uchun ionlar tezda nurlanmasdan ikkinchi sathga tushadi.  $\text{Ye}$  energetik sath ikkita  $2A$  va  $\text{Ye}$  alohida – alohida energetik sathlardan tashkil topgan. Uy haroratida uyg'ongan ionlar  $\text{Ye}_2 \rightarrow ^4A_2$  o'tishi  $\lambda=694,3 \text{nm}$ , lyuminessensiya nurlanishini hosil qiladi va spektrning kengligi  $\Delta\nu=11 \text{см}$ , kvant energetik o'tishlarining kesimi  $\sigma=2,5 \cdot 10^{-20} \text{см}^{-1}$  va foton energiyasi  $h\nu=2,8 \cdot 10^{-19} \text{J}$ . Lazer nurlanishi  $2A \rightarrow ^4A_2$  va  $\text{Ye}_2 \rightarrow ^4A_2$  o'tishlarda kuzatiladi.

**Natijalar.** Yoqut lazeri generasiyasining quyi chegarasini aniqlashni qaraymiz. Generasiyaning quyi chegarasiga mos kelgan inversion ko'chganlikning qiymati  $N_0^n = N_{\Sigma} / 2 = 10^{19} \text{см}^{-3}$  ga teng. Yoqut sterjenining uzunligi  $5 \text{см}$ , diametri  $0,8 \text{см}$ . Agar chaqmoq lampasining 10% yorug'lik energiyasi, Yoqut kristalining yutilish spektriga mos kelganda, yorituvchi sistemaning effektivligi 20% ni tashkil qilsa, lampaning elektr energiyasidan yorug'lik energiyasiga aylantirishning effektivligi 50% ni tashkil qiladi, u holda generasiyaning quyi chegarasini hosil qiluvchi chaqmoq lampasining energiya zichligi quyidagicha topiladi:

$$\varepsilon_n^{lam} = \frac{N_0^n \cdot h\nu}{0,1 \cdot 0,2 \cdot 0,5} \cong 300 \frac{\mathcal{K}}{cm^3}.$$

Farz qilaylik, inversiya hosil qilgan aktiv Yoqut sterjenning ixtiyoriy nuqtasida, spontan ravishda nurlanish boshlansin. Nurlanish tartibsiz turli yo'nalishlar bo'ylab tarqaladi, ulardan biri albatta sterjenning o'qi bo'ylab yoki o'qiga parallel yo'nalishda ham tarqaladi. Sterjenning o'qiga burchak ostida yo'nalgan yorug'lik fotonlari aktiv sterjendan chiqib yo'qoladi va generatsiyada qatnashmaydi. Aktiv sterjenning o'qi bo'ylab tarqalayotgan yorug'lik yo'lida uchragan aktiv markazlarni majburiy nurlantirib kuchayadi. Elektromagnit to'lqinning amplitudasi maksimum (botiq va qavariq) nuqtalarida aktiv markazlar jadal sur'atlar bilan bo'shaydi. Generatsiya boshlanishi spontan nurlanishdan boshlanib, keyin majburiy nurlanish kuchayib, spontan nurlanish juda kuchsizlanib qoladi. Kuchaygan yorug'lik aktiv sterjendan chiqib, rezonator ko'zgulariga tushadi va ko'zgulardan qaytib yana aktiv sterjenga kiritiladi, natijada ikki ko'zgu oralig'ida turg'un to'lqin hosil bo'ladi. Aktiv sterjenning ikki kesimidan chiqayotgan yorug'lik to'lqinlari qarama – qarshi tomonlardagi ko'zgulardan bir necha yuzlab marta qaytib, aktiv sterjen orqali o'tib, oxiri rezonator oralig'ida katta intensivlikdagi monoxromatik yorug'lik to'planadi va qaytarish koeffitsiyenti kichik bo'lgan ko'zgu orqali tashqariga lazer nuri bo'lib tarqaladi. Rezonatordan chiqayotgan lazer nurlanishini kuzatish uchun oq qog'ozdan ekran yasab, nur yo'lga qo'yib ekranning yuzida yarrowillagan qizil rangli dog'ni ko'rish kifoya. Xavfsizlik texnikasiga ko'ra lazer nurlarini bevosita ko'z bilan qarab ko'zatish mumkin emas, hattoki kog'oz ekran yaltiroq bo'lmasdan diffuziyali qaytaradigan bo'lishi lozim.

**Xulosa.** Lazer nurlanishining vaqtli rejimini ko'zatishda fotoelement yoki foto ko'paytirgich bilan ossillograf dan foydalaniladi. Har bir lazer nurlanishining intensivligi optik damlash quvvatiga bog'liq ravishda o'zgaradi va impulschalar soni yuzta va undan ham ko'p bo'lishi mumkin. Har bir pichkaning nurlanish vaqti qisqa bo'lib, bir mikrosekund atrofida bo'ladi, lekin ularning intensivligi biridan ikkinchisiga o'tganda tartibsiz o'zgaradi, shuningdek orasidagi masofa ham tartibsiz o'zgaradi. Chaqmok lampasining nurlanishi impulsli nurlanish bo'lib, nurlanish muddati bir necha yuz mikrosekunddan bir necha millisekundgacha uzluksiz davom etadi.

Yoqut lazerining spektri Fabri-Pero interferometri yordamida o'rganiladi. 9-rasmda yoqut lazeri generatsiyasining interferogrammasini, spektrini foto kamera yordamida yozish ko'rsatilgan. Interferogrammadan ko'rinadiki, yoqut lazeri nurining spektri ko'p aksial modali generatsiyadan tashkil topgan. Generatsiya spektrining vaqtga bog'liq o'zgarishidan ko'rinadiki, spektr tarkibi impulsgacha o'tganda o'zgaradi. Yoqut kristalidagi xrom ionlarining lyuminessensiyasi bir jinsli spektral kengaygan aktiv moddalar bo'lib yakka aksial modali generatsiyani hosil qilishi kerak. Generatsiyaning quyi chegarasiga yaqin bo'lgan damlash energiyasida yakka moddali generatsiya hosil bo'ladi. Damlash energiyasini oshirish bilan aksial modalar soni ham ko'paya boradi va to'yinish

qiymatiga erishadi. Lazer nurlanishining spektral kengligi damlash energiyasiga bog'liq bo'lmay qolgan holni spektral to'yinish deb yuritiladi. Ko'pchilik aksial modalarning generasiya chiqishiga sabab rezonator ko'zgulari oralig'ida turg'un to'lqin elektr maydonining bir jinsli bo'lmagan taqsimoti va u maydonning aktiv markazlarini notekis bo'shatishdir. Ikkinchidan chakmoq lampasi ishlagandan keyin undan ajralib chiqqan yorug'lik issiqlik energiyasi hisobiga aktiv modda qiziydi va spektr kengligi o'zgaradi. Rezonator ko'zgularining mexanik tebranishi kabi sabablar ham moddalar sonining o'zgarishiga va impulschali generasiyaning paydo bo'lishiga olib keladi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Maiman T.H. Stimulated optical radiation in ruby. – *Nature*, 1960, Vol. 187, pp. 493–494.
2. Silfvast W.T. Laser Fundamentals. – 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 566 p.
3. Svelto O. Principles of Lasers. – 5th ed. New York: Springer, 2010. – 624 p.
4. Karu T.I. Laser biostimulation: a photobiological phenomenon. – *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 1989, Vol. 3(4), pp. 638–640.
5. Anderson R.R., Parrish J.A. Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. – *Science*, 1983, Vol. 220(4596), pp. 524–527.
6. Goldman L. Biomedical aspects of the laser. – New York: Springer-Verlag, 1967. – 412 p.
7. Apfelberg D.B. Argon and ruby laser treatment of cutaneous lesions. – *Plastic and Reconstructive Surgery*, 1981, Vol. 67(1), pp. 20–26.
8. Dover J.S., Arndt K.A. Laser treatment of pigmented lesions. – *Archives of Dermatology*, 2000, Vol. 136(12), pp. 1563–1568.
9. Беляев В.С. Основы лазерной медицины. – Москва: Медицина, 2003. – 280 с.
10. Самойлов В.О. Лазеры и их применение в медицине и биологии. – Москва: Физматлит, 2008. – 304 с.