

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Факультет електроніки

Кафедра електронних пристроїв та систем

До захисту допущено
Завідувач кафедри

Євген ВЕРБИЦЬКИЙ
(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ червня 2023 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Електронні прилади та пристрої»
спеціальності 171 «Електроніка»**

на тему: Пристрій обробки матеріалів лазерним променем

Виконав : студент IV курсу, групи ДЕ-22

Антон МАЛИНОВСЬКИЙ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Керівник: доц. каф ЕПС, к.т.н., доц. Леонід ЦИБУЛЬСЬКИЙ
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант Технічний розділ
(назва розділу) (посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент: В.о. зав. каф. ЗВ та МФП проф., д.т.н.,
проф. Котовський Віталій Йосипович
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант
з нормоконтролю:
доц. каф ЕПС, к.т.н., доцент Лариса БАТРАК
(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань

Студент

(підпис)

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
Факультет електроніки
Кафедра електронних пристроїв та систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 171 Електроніка

Спеціалізація Електронні прилади та пристрої

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Євген ВЕРБИЦЬКИЙ

(підпис) (ім'я ПРІЗВИЩЕ)

" _____ " _____ червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

МАЛИНОВСЬКОМУ Антону Сергійовичу

1. Тема проєкту Пристрій обробки матеріалів лазерним променем

Керівник проєкту доц. каф ЕПС, к.т.н., доц. Леонід ЦИБУЛЬСЬКИЙ

(посада, науковий ступень, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

затверджені наказом по університету від «07» червня 2023 року № 2214-с

2. Термін подання студентом проєкту 15 червня 2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту: характеристичний розміри точки структурної неоднорідності – 5 мкм; мінімальна відстань між точками структурної неоднорідності - 15 мкм; база переміщення оптичної системи X=175 мм, Y=175 мм, Z=50 мм;

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) :
огляд пристроїв та методів лазерної обробки матеріалів; розробка приладу та методу лазерної обробки матеріалів; експериментальне дослідження лазерної обробки матеріалів;

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) конструкція фокусууючої оптичної системи; схема електрична принципова блоку живлення пристрою, схема електрична принципова блоку керування кроковим двигуном

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Ім'я ПРІЗВИЩЕ, посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний			

7. Дата видачі завдання 7 квітня 2017 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Строки виконання етапів проєкту	Примітка
	Отримання завдання по дипломному проєкту	7.04.2017	
	Огляд науково-технічної літератури по методам створення лазерно-стимульованих дефектів	30.04.2017	
	Види лазерних гравірувальних установок	12.05.2017	
	Результати прямого лазерного впливу на різні матеріали	15.05.2017	
	Розробка методики лазерної обробки матеріалів	17.05.2017	
	Розробка конструкції приладу лазерної обробки матеріалів	23.05.2017	
	Експериментальні дослідження	27.05.2017	
	Оформлення пояснювальної записки	13.06.2017	
	Підготовка до доповіді	15.06.2023	
	Захист дипломного проєкту	22.06.2023	

Студент

(підпис)

Антон МАЛИНОВСЬКИЙ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

Леонід ЦИБУЛЬСЬКИЙ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

В дипломному проекті представлено огляд науково-технічної літератури по методам та пристроям лазерної обробки матеріалів для створення масивів точок неоднорідності в об'ємі прозорих для випромінювання матеріалів, які можуть утворювати зображення всередині прозорого матеріалу.

Розглянуто перспективи використання таких пристроїв по створенню інформаційних об'ємних масивів точок неоднорідності для побутових та промислових виробів.

Розроблена функціональна схема пристрою, електричні принципові схеми живлення пристрою та керування кроковим двигуном, конструкція фокусуючої оптичної системи пристрою лазерної обробки матеріалів, який забезпечує виконання наступних функцій:

- характеристичний розміри виробленої точки структурної неоднорідності – 5 мкм;
- мінімальна відстань між точками структурної неоднорідності - 15 мкм;
- просторова база переміщення оптичної системи пристрою $X=175$ мм, $Y=175$ мм, $Z=50$ мм.
- роздільна здатність генерації інформаційних точок і об'ємі матеріалу – 10 мкм.

Написана програма керування кроковими двигунами за трьома координатами. Проведено дослідження впливу наноструктури двофазного скла на поріг лазерного пробою в процесі генерації лазерно-стимульованого дефекту, який довів, що мінімальною міцністю володіє однофазне скло. Міцність двофазного скла виявляється більш ніж в чотири рази вище.

Ключові слова: лазерна обробка матеріалів, фокусуюча оптична система, лазерна гравірувальна установка, обробка прозорих діелектричних матеріалів.

ANNOTATION

The diploma project presents a review of the scientific and technical literature on methods and devices for laser processing of materials to create arrays of inhomogeneity points in the volume of materials transparent to radiation, which can form an image inside a transparent material.

The prospects of using such devices to create information volume arrays of inhomogeneity points for household and industrial products are considered.

Focusing is carried out using a dynamic optical system. Movement of the optical system is carried out by stepper motors along three coordinates during computer control of the device.

The functional scheme of the device, the electrical schematics of the device power supply and stepper motor control, the design of the focusing optical system of the laser material processing device, which provides the following functions, were developed:

- the characteristic size of the produced point of structural heterogeneity is 5 μm ;
- minimum distance between points of structural heterogeneity - 15 μm ;
- the spatial base of movement of the optical system of the device $X=175\text{ mm}$, $Y=175\text{ mm}$, $Z=50\text{ mm}$.
- the resolution of the generation of information points and the volume of the material is 10 μm .

A three-coordinate stepper motor control program was written.

A study of the influence of the nanostructure of two-phase glass on the laser breakdown threshold in the process of generating a laser-stimulated defect was conducted, which proved that single-phase glass has the minimum strength. The strength of two-phase glass is more than four times higher.

Key words: laser processing of materials, focusing optical system, laser engraving machine, processing of transparent dielectric materials

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
1. ОГЛЯД ПРИСТРОЇВ ТА МЕТОДІВ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ	10
1.1. Лазерне гравірування	10
1.2. Методи створення лазерно-стимульованих дефектів	13
1.3. Види лазерних гравірувальних установок	16
1.4. Результати прямого лазерного впливу на різні матеріали	18
Висновки до розділу	20
2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ ТА МЕТОДУ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛУ	21
2.1. Розробка методики лазерної обробки матеріалів	21
2.1.1. Метод створення лазерно-стимульованого дефекту в оброблюваному матеріалі.	21
2.1.2. Принцип побудови видимого зображення всередині прозорого матеріалу.	23
2.1.3. Отримання зображення високої роздільної здатності	27
2.1.4. Побудування тривимірного зображення всередині прозорого матеріалу	30
2.2. Розробка конструкції приладу	34
2.2.1. Кроковий Двигун	34
2.2.2. Розробка принципової схеми	35
2.2.3. Драйвер керування кроковим двигуном	41
2.2.4. Блок живлення пристрою	42
2.2.5. Вузол фокусування	44
Висновки до розділу 2	47
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	48
3.1. Методика експерименту	49
3.2. Результати експерименту	52
Висновки до розділу 3	58
ВИСНОВКИ	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	60
ДОДАТОКИ	1
Додаток А. Програма керування кроковим двигуном	1
Додаток В. S U M M A R Y	6

					<i>ДП.ДЕ-22.12..000 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Пристрій обробки матеріалів лазерним променем Відомість дипломного проекту</i>	Лист	Лист	Листів
Розробив		Малиновський						
Перевірив		Цибульський Л						
Реценз.								
Н. Контр.		Батрак Л.М.						
Затверд.		Цибульський Л			НТУУ"КПІ"ФЕЛ			

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ЛСД – Лазерно-стимульований дефект;
ППМ – приймально-передавальний модуль;
НВЧ – надвисокі частоти;
ПЧ – проміжна частота;
КД – кроковий двигун;
ГКН – генератор, керований напругою;
ДШ – дешифратор;
ОД – опорний дільник;
ФНЧ – фільтр низьких частот;
ЗМ – змішувач;
БТ – біполярний транзистор;
ІМС – інтегральна мікросхема;
НУ – нормальні умови.

§				<i>ДП.ДЕ-22.12..000 ПЗ</i>	Лист
№ лист	№ докум.	Піп.	Дата		

Гравіювання відрізняє висока роздільна здатність, якість, неповторний зовнішній вигляд.

Переваги лазерного гравіювання:

- нанесення маркування на вироби;
- висока роздільна здатність;
- повторюваність складних виробів в будь-яких кількостях;
- надійність зображення;
- оригінальний зовнішній вигляд.

Ще один досить популярний вид обробки – це лазерне 3D гравіювання. Лазерна 3D гравіювання може виконуватися у звичайному силікатному склі, плавленому або кристалічному кварці, кришталі і деяких кристалах. Найчастіше лазерна 3D графіка виконується в оптичному склі, яке має високу прозорість, чистотою і однорідністю[2].

Виготовлення сувенірів зі скла методом об'ємного гравіювання створює усередині малюнок, що складається з масиву точок. Точки в прозорому матеріалі з'являються в результаті мікровибухів, ініційованих лазерним променем. Гравіювання в склі і зображення, що отримується в процесі тривимірного гравіювання вважаються тим якісніше, чим менша точка.

Сфокусоване лазерне випромінювання виробляє в обсязі скла локальне руйнування (пробій), що спостерігається як маленька біла крапка. Керований комп'ютером позиціонер переміщує фокус лазерного випромінювання так, що масив точок, що виникає у склі, утворює зображення рис.1.1.

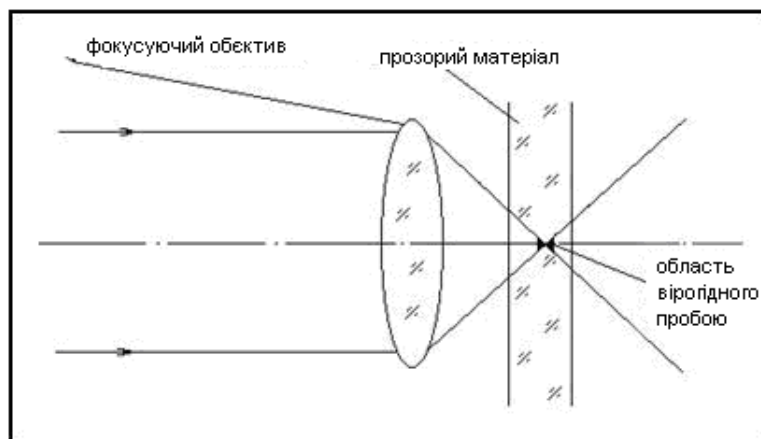


Рис.1.1. Фокусування променя всередині прозорого матеріалу

Переміщення променя по двох координатах дозволяє створити двовимірне зображення. Переміщення скла за третьою координатою дозволяє створити багат шарове об'ємне зображення.

Ні, скло, ні сувенірні вироби зовні ніяк не пошкоджуються, поки лазерний промінь переміщається в них по заздалегідь заданій комп'ютерній програмі, наповнюючи обсяг тривимірною графікою. Навіть після багатьох років розповсюдження технології в усьому світі, лазерне 3D гравірування скла продовжує інтригувати глядача загадковим виникненням малюнка в склі рис.2.1.



Рис.1.2. Об'ємне зображення всередині прозорого матеріалу

Суть методу полягає в фокусуванні потужного імпульсного або безперервного лазерного випромінювання в заданій точці об'єму твердого зразка і скануванні лазерного променя по заданому закону за допомогою програмованої системи відхилення лазерного променя або при переміщенні оброблюваного зразка щодо лазерного променя по заданому закону. Спосіб дозволяє формувати зображення в будь-яких твердих зразках. При цьому розміри одержуваного зображення обмежені тільки можливостями системи відхилення лазерного променя або можливостями системи переміщення зразка.

1.2. Методи створення лазерно-стимульованих дефектів

Мета досягається тим, що у способі лазерного формування зображень у твердих середовищах, роблять опромінення зразка з щільністю потужності, що перевищує граничне значення об'ємного пробою матеріалу, і здійснюють переміщення зразка відносного лазерного променя в трьох взаємно перпендикулярних напрямках [3, 4].

Даний спосіб оснований на явищі об'ємного пробою прозорих середовищ при дії сфокусованого в їхньому об'ємі лазерного випромінювання з щільністю потужності, що перевищує значення порогової щільності потужності об'ємного пробою матеріалу. Лазерне випромінювання, сфокусоване в задану точку в об'ємі зразка при одночасному виконанні умов

$$W_{\text{лаз.}}^{\text{об.}} \geq W_{\text{пор.}}^{\text{об.}} \text{ і } W_{\text{пов.}}^{\text{лаз.}} < W_{\text{пов.}}^{\text{пор.}},$$

де $W_{\text{лаз.}}^{\text{об.}}$ – щільність потужності лазерного випромінювання в заданій точці об'єму зразка; $W_{\text{пор.}}^{\text{об.}}$ – гранична щільність потужності об'ємного пробою матеріалу зразка; $W_{\text{пов.}}^{\text{лаз.}}$ – щільність потужності лазерного випромінювання на поверхні зразка; $W_{\text{пов.}}^{\text{пор.}}$ – гранична щільність потужності поверхневого пробою матеріалу зразка, викликає об'ємний пробій матеріалу. При цьому зберігається цілісність поверхні зразка і його об'єм поза зоною фокусування лазерного випромінювання, так як і на поверхні, і в об'ємі зразка поза зоною фокусування щільність потужності не перевищує граничних значень. Тривимірне зображення в об'ємі зразка формується при переміщенні зразка щодо лазерного променя за заданою програмою.

Оскільки граничне значення щільності потужності поверхневого пробою для прозорих середовищ має меншу величину, ніж для об'ємного пробою (наприклад, для кристалічного кварцу $W_{\text{пов.}}^{\text{пор.}} = 1,95 \times 10^{10} \text{ Вт/см}^2$, а $W_{\text{пор.}}^{\text{об.}} = 3,10 \times 10^{10} \text{ Вт/см}^2$), реалізація способу пов'язана з необхідністю використання для фокусування короткофокусні оптичні системи [8].

Сфокусований промінь створює всередині прозорого матеріалу лазерно-стимульований дефект (ЛСД) – гравірувальна точка. Кілька

3										Лист
№ Лист	№ докум.	Піп.	Дата	ДП.ДЕ-22.12..000 ПЗ						

гравірувальних точок можуть бути використані для створення або отримання видимого зображення. Якість зображення визначається роздільною здатністю і за кількістю сірих відтінків. Роздільна здатність зображення прямо пропорційна від числа гравірувальних точок унітарної області: більша кількість точок в унітарній області дає більшу роздільну здатність. Відстань між сусідніми гравірувальними точками має бути більша, ніж значення мінімальної відстані d_0 (рис.1.3). Якщо відстань менше ніж d_0 , може трапитись внутрішній розкол. Значення d_0 зменшується, коли розміри руйнують зменшуються. Тому необхідно здійснювати маленькі ЛСД, щоб створити зображення високої роздільної здатності [3].

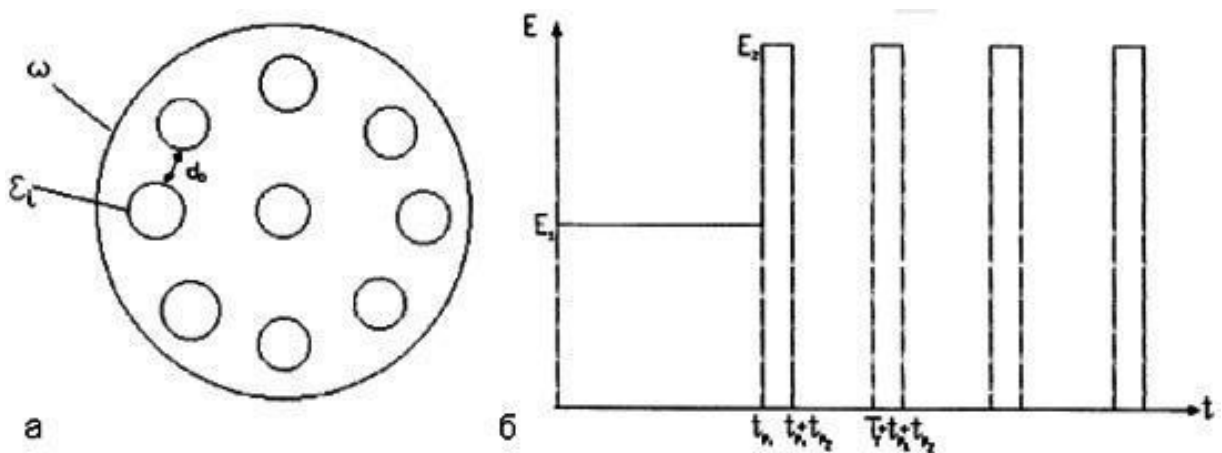


Рис.1.3. а – фокусна область в прозорого матеріалу, б – порядок імпульсів

У фокусній області в прозорого матеріалу (рис.1.3,а) створюється початкова щільність електронів: 9 областей, які є частиною ω , і в яких створюється критична концентрація електронів. Мінімальна відстань між прилеглими областями ε_j ($j=1\dots 9$) складає d_0 . На рис.1.3,б показано порядок слідування імпульсів: перший імпульс створює початкову щільність електронів всередині області ω , тривалість імпульсу t_{p1} і енергетичний рівень E_1 .

Наступні імпульси створюють критичну щільність електронів на всі 9 областей ε_j ($j=1\dots 9$).

Лазерно-стимульований дефект не відбудеться, якщо не буде створена критична щільність числа вільних електронів. Це процес, при якому

застосовується поле, яке прискорює вільні електрони, поки не досягне іонізуючої енергії. За цих умов лавинне зростання іонізації буде складати

$$N_{cr} = N_0 \exp(I(E)t),$$

де N_{cr} і N_0 є критична і первинна щільність вільних електронів, відповідно, $I(E)$ – коефіцієнт залежності поля від іонізації матеріалу і t - це час.

Тому для зменшення тривалості імпульсу, $I(E)$ має збільшуватись в цілях підтримки необхідної критичної щільності електронів. Інший спосіб полягає у збільшенні початкової щільності електронів N_0 .

Метод отримання невеликого лазерно-стимульованого дефекту відповідно до цього полягає в наступному:

Крок 1. Об'єм V_{f1} у фокусній області ω і параметри першого лазерного імпульсу (довжина хвилі, λ_1 , тривалість імпульсу t_{p1} і енергія E_1) визначені, щоб початкова щільність електронів N_0 , яка майже дорівнює N_{cr} , але не перевищує критичну щільність електронів відповідного пошкодження, досягається мінімум енергії лазера.

Крок 2. Другий об'єм V_{f2} фокусної області є параметри другого лазерного імпульсу (довжина хвилі, λ_1 , тривалість імпульсу t_{p1} і енергія імпульсу E_2) визначається за двома умовами: 1) електронна щільність, створена протягом одного імпульсу, перевищує критичну щільність електронів в об'ємі V_{f2} ; 2) об'єм лазерно-стимульованого дефекту має деяке значення V_d .

Крок 3. Фокусна область ω об'єму V_{f1} ділиться на n областей $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$, яка визначається наступними умовами: 1) кожна область $\varepsilon_i (i=1 \dots n)$ має об'єм V_{f2} ; 2) відстань між суміжними областями не менше мінімальної відстані d_0 ; 3) всі n області $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$ можуть розглядатися з іншими лазерними імпульсами за період часу, протягом якого початкова щільність електронів постійна.

Крок 4. Перший лазерний імпульс з параметрами визначеними в першому кроці генеруються і зосереджуються в області ω об'єму V_{f1} .

Крок 5. Другий лазерний імпульс з параметрами, визначеними в кроці 2 генерується і зосереджується в областях $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n$ послідовно.

1.3. Види лазерних гравірувальних установок

На рис.1.4а та наведена структурна схема установки для реалізації методу здійснення лазерно-стимульованого дефекту. Випромінювання лазера 1 фокусується оптичною системою 2 в задану точку в об'ємі оброблюваного зразка 3, розміщеного на рухомій платформі 4. Переміщення платформи зі зразком щодо лазерного променя в трьох взаємно перпендикулярних напрямках здійснюється трьома кроковими двигунами 5, 6, 7 за заданою програмою за допомогою комп'ютера 8.

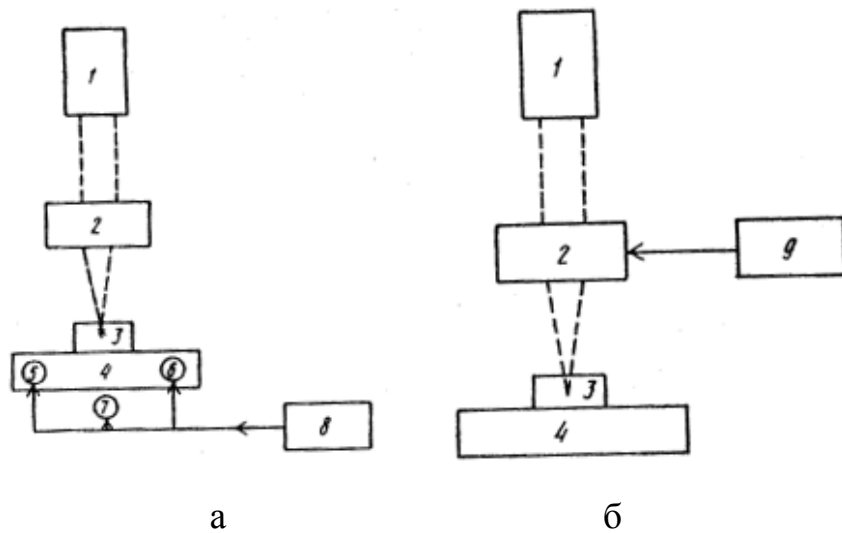


Рис.1.4. Структурні схеми установок

На рис.1.4б наведена структурна схема іншої установки, з допомогою якої також можлива реалізація даного методу.

При опроміненні зразка 3 (рис1.4б) випромінюванням імпульсного лазера 1 з аналогічними параметрами формування заданого тривимірного зображення в об'ємі зразка без руйнування його поверхні та об'єму поза зоною фокусування здійснюється шляхом сканування лазерного променя в трьох взаємно перпендикулярних напрямках системою 2 фокусування і відхилення лазерного променя по заданою програмою 9.

На даний момент існує велика кількість лазерних гравірувальних установок, які відрізняються функціями і можливостями. Це наприклад невеликі лазерні станки та лазерні гравери для маленьких фірм сувенірної продукції тощо,

та спеціалізовані промислові лазерні установки.

Невеликі установки лазерного гравірування - ідеальне придбання для компаній, що бажають освоювати лазерні технології, але не володіють великими виробничими потужностями. До цієї групи входять лазерні верстати гравірування, компактні лазерні гравери, пристосовані у використанні на малому виробництві. Компактне лазерне обладнання не вимагає значних витрат корисної площі для встановлення, не надто складно в обігу і роботі, і здатне забезпечити потреби невеликої виробничої або рекламної фірми.

Промислове лазерне обладнання - це лазерні установки і гравірувальні верстати, на яких можна робити лазерне маркування, гравіювання і лазерне розрізання різних матеріалів в промислових масштабах, у тому числі з можливістю інтегрування у виробничу лінію. Залежно від конфігурації та призначення, лазерна установка може застосовуватися в машино- та приладобудуванні, ювелірній та легкій промисловості. Промислове лазерне обладнання може бути розроблене і укомплектований відповідно до завдань та особливостей виробництва та інтегровано в поточну лінію, що значно скорочує часові та трудові витрати на виготовлення виробів, а це дуже важливо у разі великих обсягів виробництва.

Наприклад, лазерна 3D установка для гравірування всередині скла зображена на рис.1.5. Дана установка застосовується для великоформатного лазерного гравірування тривимірних зображень усередині скла. Використовується для декорування скляних виробів.



Рис.1.5. Лазерна установка GH-8813A

7									Лист
Лист	№ докум.	Піп.	Дата						

ДП.ДЕ-22.12..000 ПЗ

Основні характеристики установки GH-8813A

Довжина хвилі лазера	532 нм
Максимальна швидкість гравірування	350 мм/с
Максимальні розміри гравірування	1200*600 мм
Фокус	80 мм
Ширина імпульсу	< 30 нс
Лазерна головка	1
Охолодження	Водяне охолодження
Діаметр фокуса	0,05 мм
Потужність установки	2 кВт
Розміри головної машини	2000*1300*1260 мм
Точність гравірування	0,025 мм

Принцип даної установки полягає у фокусуванні лазерного випромінювання об'ємі скла, і здійснення локального руйнування (пробою), який має вигляд маленької білої точки. Керований позиціонер, переміщує лазерне випромінювання так, що масив точок, які виникають усередині скла, утворюють зображення.

1.4. Результати прямого лазерного впливу на різні матеріали

Скло - один з найбільш поширених матеріалів, які широко використовуються практично у всіх галузях людської діяльності. Це обумовлено унікальними властивостями: прозорістю у видимому діапазоні спектра, достатню міцність і можливістю використання як конструкційний матеріал, стійкістю проти впливу навколишнього середовища та багатьох агресивних середовищ, гнучкою технологічністю, що дозволяє відносно простими засобами виготовляти вироби самої різної форми та призначення, гігієнічністю, естетичною привабливістю і т. п. Тому скло випускається у великих промислових масштабах і його виготовленню, обробці і застосуванню приділяється величезна увага [5-7].

Основними фізичними властивостями скла, що визначають методи його виготовлення та обробки, є крихкість при нормальній температурі і висока пластичність, плавно змінюється в широкому діапазоні температур, починаючи

від температури склування (розм'якшення). Наслідком цих властивостей є основні методи обробки скла: теплова обробка в процесі формування виробів і зварювання деталей у вузли, спрямоване порушення міцності скла за допомогою теплових, абразивних і твердосплавних інструментів з наступним його розламуванні за наміченим контуром і шліфування з метою забезпечення високої точності виготовлення скляних виробів.

Силікатне скло є аморфне тверде тіло, яке являє собою переохолоджену, багатокомпонентну і структуровану в процесі охолодження рідину зі структурою, фіксованою при температурі склування, мікрогетерогенну за своїм хімічним і структурним складом [9,10].

Характерною особливістю скла як аморфного тіла є те, що його перехід з рідкого стану в твердий відбувається не в окремій точці, фіксованого по температурі, а в деякому температурному інтервалі, що зветься аномальним.

У аномальному температурному інтервалі є температура, при якій фізичні властивості скла змінюються найбільш різко - температура склування. Ця температура практично є граничною. Нижче неї скло знаходиться у твердій, а вище - в рідкій фазі. Отже, температура склування практично збігається з нижньою температурою розм'якшення скла.

При нагріванні скла його в'язкість досить плавно зменшується. При досягненні температури склування швидкість зниження в'язкості скла помітно підвищується, а потім знову падає до вихідного значення. При подальшому підвищенні температури, фізико-хімічні властивості скла також різко змінюються, але тепер ці зміни мають зовсім інший характер, пов'язаний з розкладом і випаровуванням численних компонентів що входять до складу скла. Максимальна температура, при якій фізико-хімічні властивості скла ще не змінюються (що важливо при розрахунках і виборі робочих режимів обробки скла), визначається його хімічним складом.

Зазвичай для обробки скла використовують CO₂-лазер, довжина хвилі якого лежить поза межею прозорості оптичного скла. Такі методи засновані на сильному поглинання лазерного випромінювання в тонкому шарі зразка з боку

падіння променя. Їх можна класифікувати таким чином: плавлення та

випаровування матеріалу; механічне розламування; терморозколювання, коли напруження в склі створюється за рахунок локального нагріву, причому тріщина може утворитися як в процесі обробки, так і після впливу лазерного випромінювання.

При відповідних характеристиках випромінювання в рідині виникає кавітація, що призводить до локального утворення напружень у скляному зразку і подальшому утворенню єдиної тріщини при русі променя по матеріалу.

Даний метод отримання зображення в оптично прозорому матеріалі полягає в створенні лазерно-стимульованого дефекту всередині матеріалу без зовнішнього механічного пошкодження. Лазерна енергія використовується для отримання видимих точок або областей від ушкодження всередині об'єкта. Такі області можуть бути визначені як гравірувальні точки. Оптична прозорість матеріалу дозволяє візуально оцінити якість отриманого зображення.

Кілька гравірувальних точок можуть бути використані для створення або отримання видимого зображення. Якість зображення підвищується шляхом створення точок у різних відтінках [11,12].

До методів лазерної обробки матеріалів на тепер відносяться: гравірування, різання, плавлення, виготовлення отворів тощо. Гравірування набуло найбільшого поширення.

Гравіювання буває контурне або растрове. При контурному гравіруванні промінь лазера малює контури у вигляді тонких ліній. При растровому гравіруванні промінь лазера будує зображення, що складається з масиву точок неоднорідності різної просторової щільності, чим досягається майже фотографічне зображення.

Переваги лазерного гравіювання:

- висока роздільна здатність;
- повторюваність складних масивів в будь-яких кількостях;
- стабільність отриманого зображення;
- повна автоматизація процесу.

20										Лист
№ Лист	№ докум.	Піш.	Дата	ДП.ДЕ-22.12..000 ПЗ						

Лазерне 3D гравірування може виконуватися у звичайному силікатному склі, плавленому або кристалічному кварці, кришталі, алмазі і інших прозорих для випромінювання лазера кристалах.

Найбільш перспективним в економічному та технічному плані є метод, який поєднує вплив двох імпульсів лазерного випромінювання: підготовчого, який діє на велику область в матеріалі і робочого, який локалізований в малому об'ємі. Разом дія двох імпульсів сприяє створенню точки локальної неоднорідності в матеріалі.

21				ДП.ДЕ-22.12..000 ПЗ	Лист
№ Лист	№ докум.	Піп.	Дата		

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ ТА МЕТОДУ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛУ

2.1. Розробка методики лазерної обробки матеріалів

2.1.1. Метод створення лазерно-стимульованого дефекту в оброблюваному матеріалі

Лазерне руйнування виникає, коли лазерне випромінювання перевищує певну величину енергетичного порогу, який є характеристикою матеріалу. При перевищенні порогового значення енергії, стан плазми утворюється в лазерному промені фокусної плями. Генерація плазми пов'язане з ударною хвилею, яка викликає руйнування кристалічної ґратки в скляних або інших прозорих матеріалах.

Процес розвитку лазерно-стимульованого дефекту (ЛСД) має кілька етапів:

- 1) створення початкової низькою щільністю концентрації вільних електронів;
- 2) збільшення концентрації електронів від 10^{18} до досягнення щільності в 10^{19}см^{-3} ;
- 3) абсорбція залишку лазерного імпульсу результуючою плазмою;
- 4) підвищення температури на значення в декілька тисяч градусів;
- 5) генерація початкової термічної звукової хвилі, яка є реакцією середовища після теплового розширення області протягом лазерного імпульсу;
- 6) розширення рідини відбувається зі швидкістю набагато повільніше, ніж швидкість звуку;
- 7) генерація індукованої тиском звукові хвилі відбувається у вигляді рідких форм високого тиску;
- 8) утворення тріщин (швидкість в діапазоні від 1 до 2 км / с).

Важливо відзначити, що існують два переважаючих типу тріщин які генеруються. Ці тріщини мають відносно незалежну орієнтацію. Іншим типом є велика кількість дуже дрібних тріщин, які є відносно ізотропні в розподілі.

Генеруються на початку процесу, тріщини першого типу. Після того як ці тріщини були зроблені, залишковий тиск звільняється від великої кількості відносно невеликих тріщин. Весь цей процес триває кілька десятків наносекунд. В стані плазми існує набагато довше, проте, іноді близько однієї мілісекунди.

Метод презентованого винаходу заснований на використанні лазерного імпульсу з енергією, яка перевищує поріг енергії E_0 на невелике значення (тобто значення, яке необхідно для того щоб здійснити ЛСД в матеріалі) і створення точки гравірування, яка має певну яскравість, керуючи тривалістю імпульсу. Взагалі, збільшуючи тривалість імпульсу, яскравість точки гравірування збільшується.

Основна концепція даного методу полягає у генерації плазми та подальшій підтримці плазмових умов (рис.2.1) з невеликими затратами енергії, поки створений тиск всередині матеріалу не розсіюється.

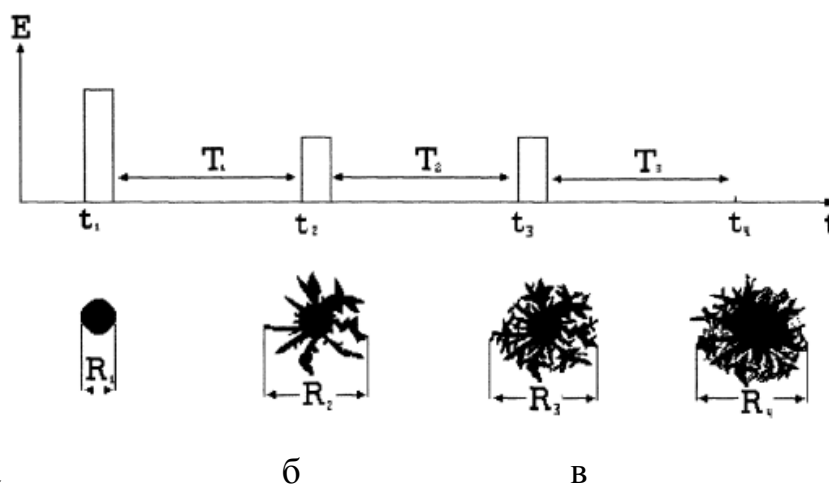


Рис.2.1. Послідовність лазерних пучків; а, б, в, г – розвиток ЛСД в час t_1, t_2, t_3, t_4 відповідно

Метод створення ЛСД точки чи області, відповідно до даного пристрою полягає в наступному:

1. Визначається енергія лазерного імпульсу E_1 , яка перевищує порогове значення енергії E_0 , необхідна для створення плазми в матеріалі
2. Визначається час t_1 протягом якого відбувається ЛСД першим лазерним імпульсом.
3. Визначається кількість лазерних імпульсів N , необхідних для створення зображення необхідної яскравості.

4. Значення рівнів енергії $E_2 \dots E_n$ наступних лазерних імпульсів для підтримки стану плазми і час $t_2 \dots t_n$ в ході якого відбувається ЛСД.

5. Послідовність лазерних імпульсів з параметрами, визначеними в пунктах 1 - 4 генеруються та фокусуються усередині прозорого матеріалу.

Лазерний пучок фокусується в невелику фокусну пляму і вся його енергія спрямована всередину фокальної області. В результаті ЛСД розмір координаційної плями буде меншого розміру, ніж розмір необхідної точки гравірування. Наприклад, лазерний промінь фокусується в точку в 10-20 мкм, якщо необхідний розмір руйнування становить 100-200 мкм. Присвоювання гравірувальній точці потрібного розміру здійснюється шляхом корегування рівня лазерної енергії та тривалості імпульсу. В результаті, площа, на яку направлена енергія лазерного випромінювання, істотно менша бажаного розміру області гравірування, але енергія, яка при цьому використовується, перевищує граничне значення енергії, необхідної для здійснення пробою. В результаті утворюються великі тріщини. Тому кореляція між рівнем енергії та областю в які енергія застосовується, вибрана так, що в результаті тріщини все залишається в межах бажаної області.

2.1.2. Принцип побудови видимого зображення всередині прозорого матеріалу

На рис 2.2 зображений прогнозований розвиток ЛСД всередині прозорого матеріалу. Гравірувальна точка стає більшою, при збільшенні енергії лазерного імпульсу. Ця точка має бути достатньо великою для того щоб була можливість візуально оцінити неозброєним оком. Тому лазерне випромінювання, яке зосереджене в одну точку, має велику енергію імпульсу, яка значно перевищує граничне значення, і саме тому розміри гравірувальної точки мають різні значення [13,14].

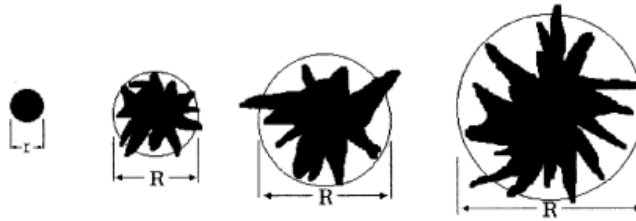


Рис.2.2. Розвиток лазерно-стимульованого дефекту

Основний принцип побудови зображення всередині прозорого матеріалу полягає у фокусуванні лазерного випромінювання в декількох невеликих координаційних плямах. Енергія імпульсу в кожній маленькій ділянці фокусування перевищує певне граничне значення. Для отримання якісного зображення необхідно рівномірно охопити всі області гравірування лазерним променем.

Існують два різні способи покриття:

- 1) відстань між сусідніми плямами менша ніж d_0 (гранична відстань);
- 2) відстань між сусідніми плямами більша ніж d_0 .

Якщо відстань між сусідніми плямами менші ніж d_0 (але не набагато), тоді виникає внутрішній розкол і пошкодження охоплює всі області гравірувальних точок приблизно рівномірно. Метод генерації ЛСД відповідно до пристрою має наступні послідовні кроки (рис.2.3, рис.2.4):

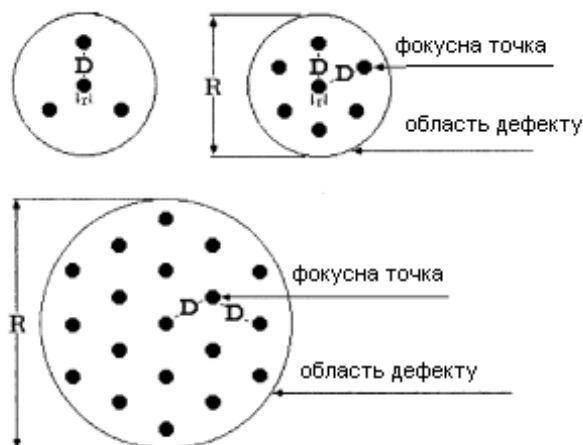


Рис.2.3. Гравірувальні області



Рис.2.4. Лазерно-стимульований дефект всередині гравірувальної точки

1) ефективна форма і розмір (R) лазерно-стимульованого пошкодження, що добре видні неозброєним оком;

2) координаційний розмір плями (R) знаходиться за допомогою значення енергії лазерного імпульсу і енергії порогу прозорого матеріалу;

3) визначене число фокусних точок всередині області лазерного пошкодження для отримання чорно-білого зображення;

4) проводиться композиція фокусних точок всередині області лазерного руйнування для отримання чорно-білого зображення;

5) визначається число фокусних точок всередині лазерного руйнування для отримання сірого відтінку;

На рис.2.3 зображені три гравірувальні області і можливі механізми координації плям усередині них. Координаційні плями має розмір r , а область гравірування має ефективний розмір R . Відстань між сусідніми координаційними плямами становить D .

На рис.2.4 зображені дві стадії лазерно-стимульованого дефекту всередині гравірувальної точки:

а – перша стадія розвитку лазерно-стимульованого дефекту, коли пошкодження виробляє ударну хвилю, яка викликає тріщини навколо координаційної плями;

б – кінцева стадія, коли створена напруга охоплює всі області гравірувальної точки.

Пошкодження на рис.2.4 відбувається у випадку, коли відстань між сусідніми координаційними плямами менше порогової відстані d_0 . Чорна область відповідає зоні, де змінилося заломлення.

На рис.2.5 (а, б) зображені гравірувальні області, де відстань між сусідніми координаційними плямами більше граничного значення d_0 . У цьому випадку гравірувальна точка складається з окремих областей ЛСД. Отже яскравість гравірувальної точки прямо пропорційна числу координаційних плям, що лежать всередині. На рис.2.5а зображена точка, яка має більшу яскравість, ніж точка на рис.2.5б. Зазвичай відстань між сусідніми точками ЛСД дуже малий, тому при візуальній оцінці зображення всередині прозорого матеріалу неозброєним оком спостерігається тільки відтінок точки. Це дає можливість створювати зображення різних відтінків [18].

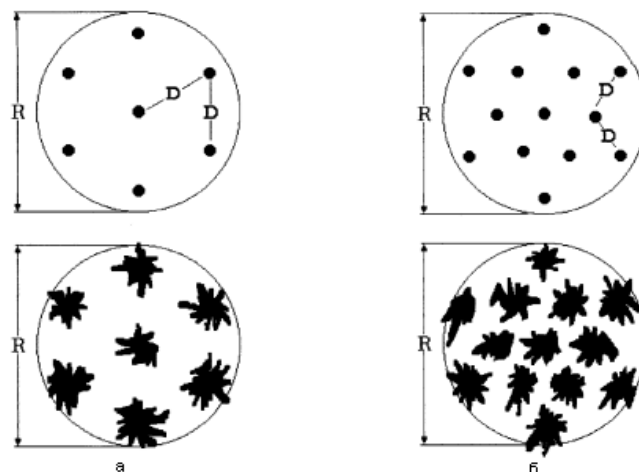


Рис.2.5. Відтінок гравірувальної точки

На рис.2.6 зображено приклад лазерного дефекту у формі еліпса. Таким чином можна створити лазерний дефект необхідної форми. Використовуючи такі гравірувальні точки можна робити образи, які з різних ракурсів будуть мати бажані відтінки.

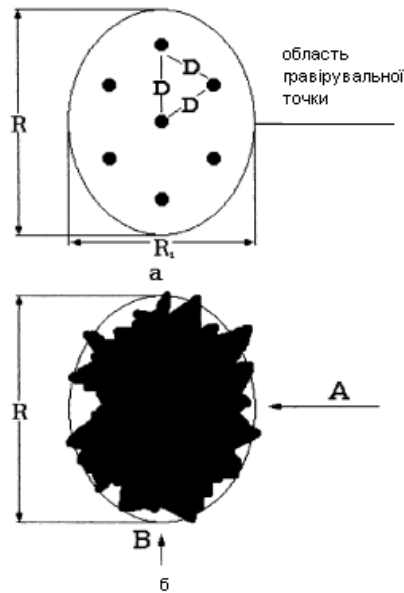


Рис.2.6. Область лазерно-стимульованого дефекту у формі еліпса

2.1.3. Отримання зображення високої роздільної здатності

Процес отримання зображення високої роздільної здатності має 4 важливих особливості:

1. Зображення отримуємо шляхом гравірування на рівній відстані від поверхні прозорого матеріалу, отже глибина фокусування лазерного випромінювання не змінюється в процесі виробництва.

2. Всі гравірувальні точки знаходяться на одній площині, тому всі точки відповідають певним відтінкам, коли лазерний промінь перпендикулярний до площини зображення.

3. Лазерне випромінювання може бути сфокусоване у визначену точку після двох зворотних напрямків.

4. Зображення потрібно спостерігати приблизно під прямим кутом до площини зображення.

Тому видима область зображень в одній площині визначається його поперечними розмірами. Отже, для отримання зображення необхідно генерувати гравірувальні точки без зміни їх поперечних розмірів.

Важливо відзначити, що якщо пошкодження поперечних розмірів менше, ніж мінімальний розмір, то його не помітно неозброєним оком. Крім того, для отримання сірих відтінків необхідно використовувати ЛСД досить великих

поперечних розмірів, що дає можливість контролювати їх яскравість [19,20].

На рис.2.7 зображено фокусування лазерного випромінювання на опуклій площині об'єктива. Об'єктив 9 ковзає уздовж площини поверхні матеріалу 10. Об'єктив використовується для фокусування лазерного випромінювання в задану точку 4. Значення глибини, на якій здійснюється зображення на площині 3 визначається фокусною відстанню об'єктива і товщиною d_1 . Комп'ютер 8 керує позиціонуванням лазерного променя на площину завдяки двигуну 7.

Як вже було сказано вище однією з особливостей нанесення зображення всередину прозорого матеріалу полягає в тому, що всі точки гравірування знаходяться на одній площині. Це дає можливість використовувати так званий кумулятивний ефект для нанесення невеликих гравірувальних точок без збільшення часу нанесення. Кумулятивний ефект був виявлений зокрема для скла і полімерів. Кумулятивний ефект зменшує поріг руйнування. Але зниження граничного значення пошкодження дозволяє знизити щільність енергії тематичної області, де має бути здійснений ЛСД. Це, у свою чергу, зменшує поперечні розміри гравірувальної точки. Отже, використання кумулятивного ефекту дає можливість створювати гравірувальні точки меншого розміру і з гладкою структурою зірки.

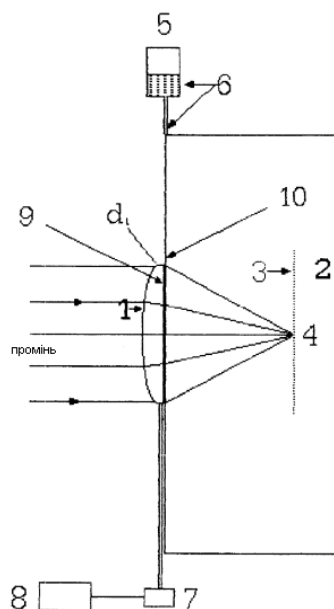


Рис.2.7. Фокусування лазерного променя всередині прозорого матеріалу

Яскравість точки гравірування можна контролювати тільки шляхом зміни розміру ЛСД, що є недоліком такого методу. Гравірувальну точку не можна зробити відповідно до вимог високої якості здійснення зображення.

Важливим кроком в здійсненні зображення в одній площині матеріалу є максимальний розмір гравірувальної точки, які дозволяють відтворити зображення з просторовим допуском. Гравірувальна точка має гладку форму, якщо відстань між сусідніми ЛСД не перевищує її середніх розмірів. Ці розміри визначаються порогом дефекту: менше граничне значення дає можливість отримати ЛСД меншого розміру. Але граничне значення є характеристикою обраного прозорого матеріалу і може бути знижена використанням кумулятивного ефекту. Іншими словами використання кумулятивного ефекту можна зменшити масштаб гравірувальних точок. Таким чином визначається конфігурація при якій можуть бути здійснені гравірувальні точки необхідних розмірів.

На рис.2.8 зображений портрет, отриманий лазерною обробкою прозорого матеріалу. Пікселі портрету мають цілочисельні значення координат. Кольори пікселів з координатами X або уздовж осі Y варіюють від чорного кольору.



Рис.2.8. Зображення, отримане всередині прозорого матеріалу

2.1.4. Побудування тривимірного зображення всередині прозорого матеріалу

Побудова тривимірного зображення всередині оптично прозорого матеріалу здійснюється за допомогою декількох 2D зображень.

Об'ємне зображення є множиною гравірувальних точок усередині прозорого матеріалу, створене за допомогою лазерного променя. Області навколо цих точок, в результаті взаємного лазерного випромінювання з прозорим матеріалом, стали видимими: або відображають світло, або поглинають.

Першим кроком лазерно-стимульованого здійснення зображення є створення 3D моделі на комп'ютері. Ця модель може бути здійснена за допомогою декількох 3D сканерів, або великої кількості 2D портретів із використанням комерційних програм. Однак, для виробництва лазерно-стимульованого зображення немає необхідності створювати такі точні моделі. Справа в тому, що: 1) з мінімальною відстанню між сусідніми точками гравірування лазерно-стимульоване зображення не дорівнюють нулю, загальна кількість лазерних точок менша, ніж загальне число точок в реальних зображеннях, і тому просторове розрізнення зображення здійснюється усередині прозорого матеріалу менше, ніж на реальному зображенні; 2) лазерно-стимульоване зображення здійснюється усередині прозорого матеріалу, показник заломлення якого не дорівнює одиниці, так що спостереження зображення здійснюється шляхом спотворення, які певною мірою залежать від форми прозорого матеріалу. Відповідно до цього, метод для виробництва лазерно-стимульованого зображення повинен включати створення 3D моделі з урахуванням особливостей перерахованих вище.

Моделі 3D зображення можуть бути побудовані з окремих частин, відповідаючи оригіналу. Такими окремими деталями є: стандартні волосся, вуха, борода, вуса і т. ін. Використовуються 2D зображення для отримання різних частин майбутнього зображення. Відповідна 3D модель зображення створюється шляхом об'єднання різних частин. Ця 3D-модель складається з рівновіддалених точок, так щоб відстань між сусідніми гравірувальними точками була більшою

зменшується на стільки, на скільки це можливо без істотного зниження якості цих зображень.

2. Вибираються Контури цих 2D портретів.

3. Вибираються основні частини голови побудування моделі.

4. Форми основних частин модифіковані так, щоб їх контури збігалися з відповідними частинами 2 D портретів.

5. Голова моделі побудована з основних частин.

6. Побудована модель голови складається з точок, мінімальна відстань між якими більше R_0 (мінімальна відстань між сусідніми точками, коли не відбувається внутрішнього розколу).

7. початкові 2D портрети, які перпендикулярні до напрямку лазерного променя використовуються для отримання лазерних зображень, перетворюючись в багатопрофільні композиції, так щоб кожна фотографія містила кілька площин (шарів), відстань між якими більше, ніж d_0 і відстань між сусідніми точками кожного шару також більша d_0 .

8. Розміри первинного 2D портрету, які збігаються з напрямком лазерного променя, зменшуються в Z_0/d_0 раз уздовж напрямку лазерного променя і після цього вони перетворюються в багатопрофільну композицію, в якій кожна фотографія містить кілька площин, відстань між якими більше, ніж d_0 відстань між сусідніми точками також більша d_0 .

9. Точки лівого профілю порівнюються з точками правого профілю.

10. Багатокомпонентний шар точок проектується на відповідну частину голови 3D моделі.

11. Множини гравірувальних точок усередині прозорого матеріалу за допомогою лазерного променя здійснюється періодичним фокусуванням на точку, що належить до точки побудови зображення.

Ілюстрація методу коли зображення 3D портрету відновлюється за допомогою двох 2D портретів.

1. На рис.2.9 а, б показано відповідно обличчя і профіль портрету, які використовуються для побудови моделі зображення.



Рис.2.9. 2D зображення портрету

2. На рис.2.10 а, б, в, г, д зображені основні частини побудови зображення, контури основних частин.

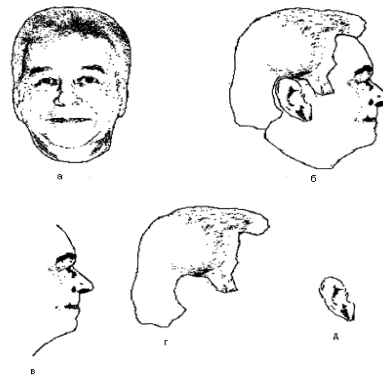


Рис.2.10. Основні частини побудови 3D моделі зображення.

3. Напрямок лазерного променя при виготовленні зображення вибирається так, щоб він був перпендикулярний до зображення. На рис 2.11 показані ряд точок, що складається з трьох шарів. Відстань між сусідніми шарами більше, ніж Z_0 , а також відстань між сусідніми точками в сусідньому шарі більше, ніж d_0 .

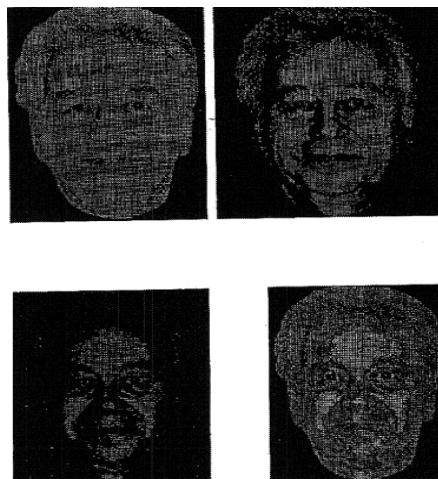


Рис 2.11. Розташування точок зображення

4. Розмір волосся і вух зображення зменшується в Z_0/d_0 раз уздовж напрямку лазерного променя і після цього вони перетворюються в багат шарову композицію.

5. Зображення волосся та вух проєктуються на відповідні частини зображення.

6. На рис.2.12 а, б, в зображена 3D модель зображення портрету всередині оптично прозорого матеріалу.

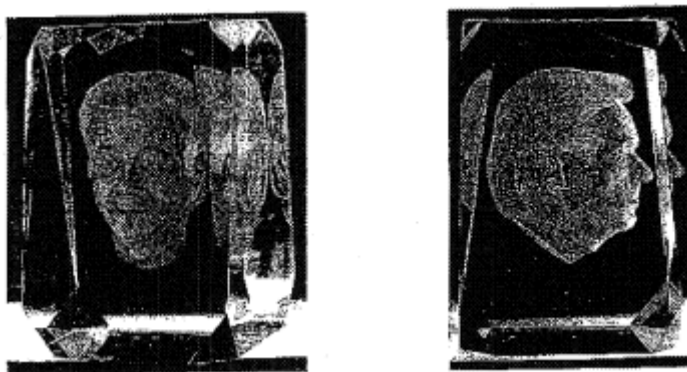


Рис.2.12. 3D модель отриманого зображення всередині прозорого матеріалу.

2.2. Розробка конструкції приладу

2.2.1. Кроковий Двигун

Контролер крокового двигуна (КД), реалізований на базі мікроконтролера серії МК51, являє собою пристрій, який дозволяє керувати КД в кроковому режимі, режимі плавного прискорення та гальмування [16].

В даний пристрій входить клавіатура, яка складається з 12 клавіш, індикатора і драйвера КД.

При включенні живлення системи, вона починає опитувати клавіатуру. Після введення числового значення з клавіатури система виводить його на індикатор і потім відпрацьовує введене число кроків шляхом видачі послідовності імпульсів з наростаючою, а потім частотою зниження на драйвер КД.

- 31 програмовані лінії вводу/виводу;
- 2 16-розрядних таймера/лічильника подій;
- 5 джерел сигналу переривання;
- промисловий (-40°C...85°C) і комерційний (0°C...70°C) діапазон температур;
- 40-вивідні корпуси PDIP і SOIC.

Опис мікроконтролера

КМОП мікроконтроллер AT89C51, оснащений Flash програмованим і стираючим ПЗУ, сумісним за системою команд і за виводами зі стандартними приладами сімейства MCS-51. Мікроконтролер містить 4 Кбайта Flash ПЗУ, 128 байт ОЗП, 32 лінії введення/виведення, два 16-розрядних таймера/лічильника подій, повнодуплексний порт (UART), п'ять векторних дворівневих переривань, вбудований прецизійний аналоговий компаратор, вбудований генератор і схему формування тактової послідовності. Програмування Flash пам'яті програм ведеться з використанням напруги 12 В, її вміст може бути захищений від несанкціонованого запису/зчитування. Є можливість очищення Flash пам'яті за одну операцію, можливість зчитування вбудованого коду ідентифікації. Споживання в активному режимі на частоті 12 МГц не перевищує 15 мА та 5,5 мА при напрузі живлення 6 В і 3 В, відповідно.

Призначення виводів:

VCC: напруга живлення.

GND: загальний провід.

Порт 1: Восьми бітний квазі двонаправлений порт введення/виведення: кожен розряд порту може бути запрограмований як на введення, так і на виведення інформації, незалежно від стану інших розрядів.

Порт 2: Восьми бітний квазі двонаправлений порт, аналогічний P1; крім того, виводи цього порту використовуються для видачі адресної інформації при звертанні до зовнішньої пам'яті програм або даних.

Порт 3: Восьми бітний квазі двонаправлений порт, аналогічний P1; крім

рівень на вході RST повинен утримуватися протягом двох машинних циклів для надійного скидання пристрою.

XTAL1: вхід інвертуючого підсилювача тактового генератора і вхід зовнішнього тактового сигналу.

XTAL2: вихід інвертуючого підсилювача генератора.

Характеристики Генератора

XTAL1 і XTAL2 - вхід і вихід, відповідно, інвертуючого підсилювача, який може бути налаштований для використання як внутрішній генератор, як показано в рис.2.13. Може використовуватися кварцовий або керамічний резонатор [14, 15].

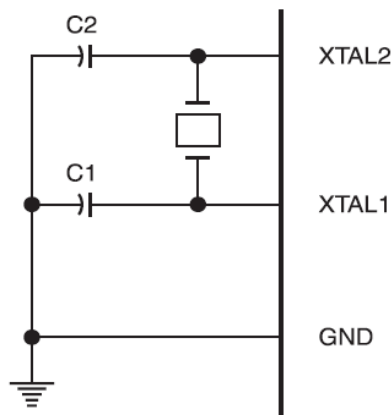


Рис.2.13. Схема підключення резонатора

C1, C2 = 30 pF +/- 10 pF для кварцових резонаторів,
40 pF +/- 10 pF для керамічних резонаторів

Граничні допустимі параметри:

Робоча температура -55 ° C +125 ° C

Температура зберігання -65 ° C +150 ° C

Напруга на будь-якому виводі відносно землі -1.0В +7.0 В

Максимальна напруга живлення 6.6 В

Вихідний струм (лог 0) 25.0 мА

Підключаємо вхід RST через конденсатор на 5 В. В якості конденсатора С6, вибираємо конденсатор марки К50-6-50В-1мкФ ± 10%. Для підключення осцилятора вибираємо конденсатори С7, С8 марки КМ-5Б-160В-30 пФ ± 10%, і

кварц РК374 МД-6-нд (11.059200 МГц).

Вибір індикатора

Серед 7-сегментних ЖКІ - модулів найбільшого поширення набули модулі на основі контролера НТ1611 (або НТ1613). Вони мають 10 знакомісць і управляються по послідовній шині.

При використанні модуля в мікроконтролерній системі тільки для відображення завантажуються по послідовній шині символів, потрібно з'єднати вивід НК із загальним виводом, а виводи 12/24, S1, S2 і TMR залишити вільними. Тимчасова діаграма передачі даних по послідовній шині наведена на рис.2.14, де t_a - час встановлення даних (> 1 мкс), t_b - час утримання даних (> 2 мкс), t_c - інтервал між символами (> 5 мкс).

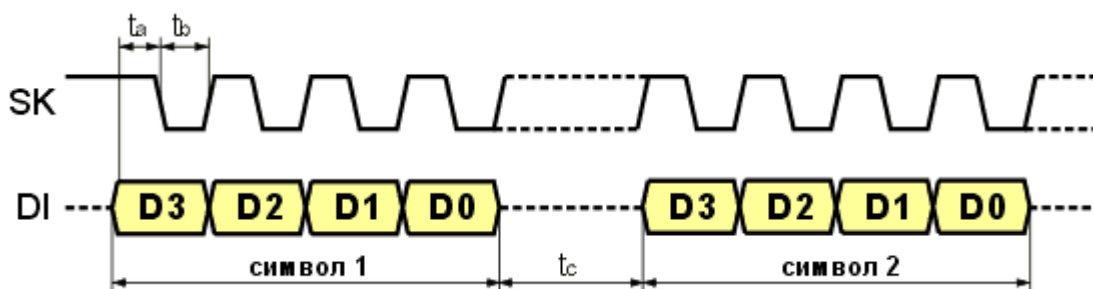


Рис.2.14. Діаграма передачі даних

Дані подаються на лінію DI і захищуються по спаду тактових імпульсів на лінії SK. Символи відображаються в правій частині, що вже є на індикаторі символи зсуваються ліворуч. Після того, як всі необхідні дані передані, лінію SK слід залишити в стані низького логічного рівня, щоб запобігти автоматичний перехід модуля в режим відображення значення таймера.

Кожен символ кодується 4-ма бітами, тому всього є 16 символів (рис.2.15).

Потрібно відзначити, що напруга живлення індикатора сильно впливає на контрастність. При низькій нарузі контрастність недостатня, а при великій засвічуються погашені сегменти. Оптимальне значення знаходиться в проміжку 1.50 ... 1.65 В.

D3	D2	D1	D0	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7

D3	D2	D1	D0	
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	A
1	0	1	1	B
1	1	0	0	C
1	1	0	1	D
1	1	1	0	E
1	1	1	1	F

Рис.2.15. Кодування символів

Поширена схема живлення, де як джерело зразкової напруги використовуються діоди в прямому включенні (рис.2.16 а), не дозволяє отримати оптимальну контрастність, так як двох діодів виявляється мало, а трьох - багато. Тим більше, бажано мати можливість регулювання цієї напруги. Проста схема на одному транзисторі дозволяє отримати потрібну напругу живлення і регулювати її (рис. 2.16 б).

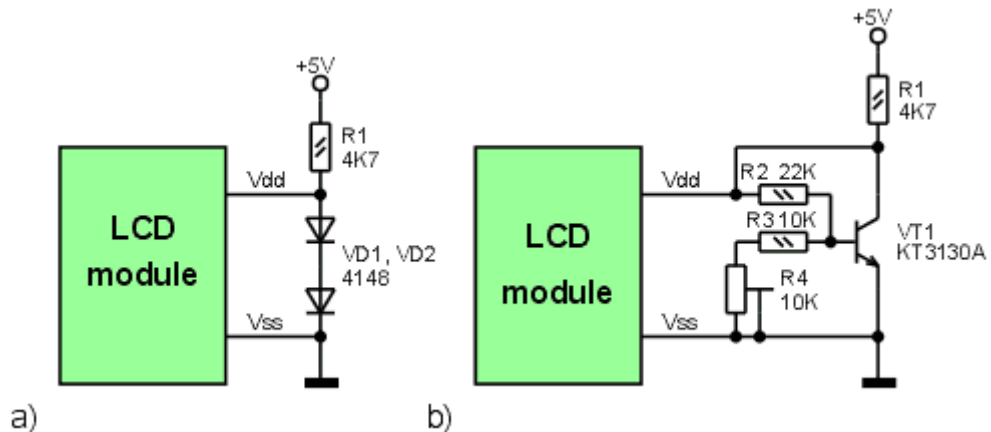


Рис.2.16. Схема живлення діода

Враховуючи дуже низький струм споживання індикатора можна обійтися і простим резисторним дільником, якщо вхідна напруга живлення постійна. Описані схеми живлення не є економічними і підходять, наприклад, для пристроїв з живленням від мережі. Система живлення автономного пристрою може бути дуже складною, і конкретні рішення залежать від специфіки завдання. Одним з варіантів може бути живлення пристрою від елемента напругою 1.5 В,

від якого індикатор харчується безпосередньо.

Для узгодження логічних рівнів можна застосувати різні схеми. З огляду на той факт, що входи DI і SK мають внутрішні підтягувальні резистори, можна обійтися просто діодами (рис.2.17а). Перевага такого способу полягає в тому, що узгодження не буде залежати від напруги живлення мікроконтролера. Однак такий спосіб має і недолік. Зважаючи на великі номінали підтягуючих резисторів рівні на входах будуть досить повільно досягати стану логічної одиниці, що потребують значного зниження швидкості обміну. Тому перевага для узгодження надається використанню резисторних дільників (рис. 2.17б).

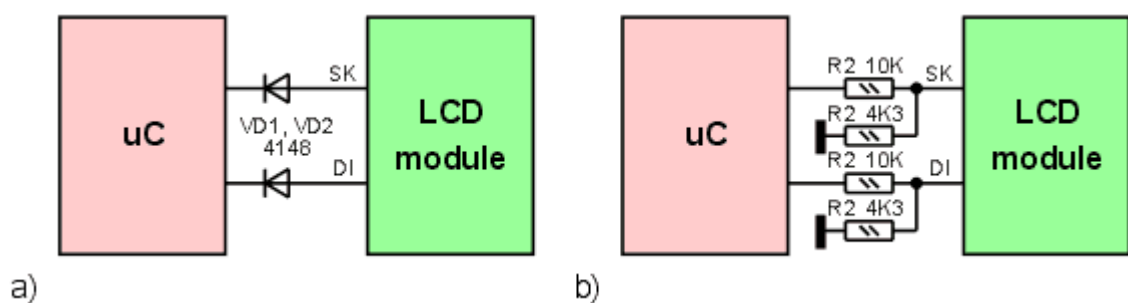


Рис.2.17. Схеми діодів

Необхідно відзначити, що протягом приблизно 2 сек після включення живлення модуль не сприймає дані, передані йому по послідовній шині. Тому завжди має бути затримка між включенням харчування і початком обміну.

2.2.3. Драйвер керування кроковим двигуном

Мікросхема L297 сильно розвантажує керуючий мікроконтроллер, тому що від нього вимагається тільки тактова частота CLOCK (частота повторення кроків) і кілька статичних сигналів: DIRECTION - напрямок (сигнал внутрішньо синхронізований, перемикає можна в будь-який момент), HALF/FULL - напівшаговий/повношаговий режим, RESET - встановлює фази в початковий стан (ABCD = 0101), ENABLE - дозвіл роботи мікросхеми, Vref - опорна напруга, яка задає пікову величину струму при ШІМ-регулюванні. Крім того, є декілька додаткових сигналів. Сигнал CONTROL задає режим роботи

ШИМ-регулятора. При його низькому рівні ШИМ-регулювання відбувається за виходами INH1, INH2, а при високому – на виходах ABCD. SYNC - вихід внутрішнього тактового генератора ШИМ. Він служить для синхронізації роботи декількох мікросхем. Також може бути використаний як вхід при тактуванні від зовнішнього генератора. HOME - сигнал початкового положення (ABCD=0101). Він використовується для синхронізації перемикання режимів HALF/FULL. У залежності від моменту переходу в повнокроковий режим мікросхема може працювати в режимі з однією включеною фазою або з двома включеними фазами [19].

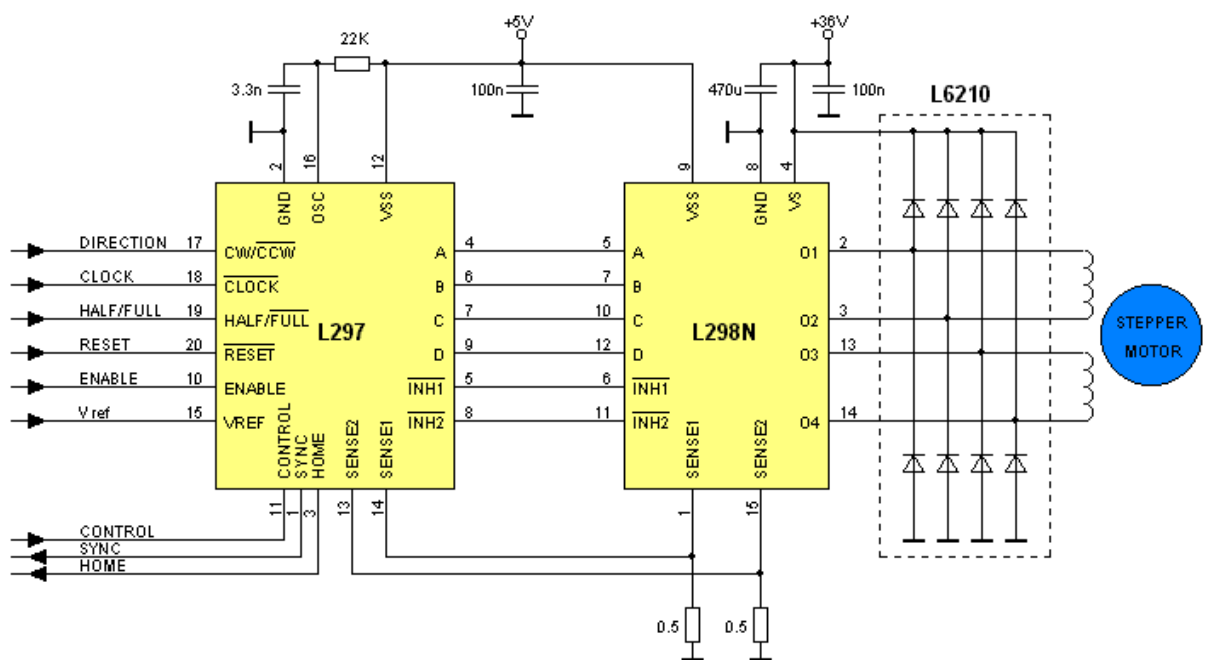


Рис.2.18. Схема керування КД

2.2.4. Блок живлення пристрою

Електрична схема блоку живлення лазера і крокових двигунів зображена на рис.2.20.

Схема стеження зі зворотним зв'язком виробляє струм прямого зміщення лазерного діода. Стабілізатор автоматично регулюється зворотним струмом контролюючого діода, для того щоб підтримувалася встановлена потужність випромінювання [19].

Регулювання струму здійснюється операційним підсилювачем СІ4, на

інверсний вхід якого подано опорна напруга 2,5 В з резисторів R22, R23.

Потенціал на прямому вході 3 змінюється в залежності від зворотного струму лазера. Дійсно, струм діода, проходячи через резистори R25 і AJ1, перетворюється в напругу.

Напруга на виході СІ4 залежить від зворотного струму діода, а також від підстроючого резистора AJ1, за допомогою якого встановлюється потужність променя. Чим менше вихідна напруга СІ4, тим більше струм лазера, отже, потужність.

Ємність конденсатора С11 визначає затримку наростання струму через лазерний діод, зокрема при включенні живлення.

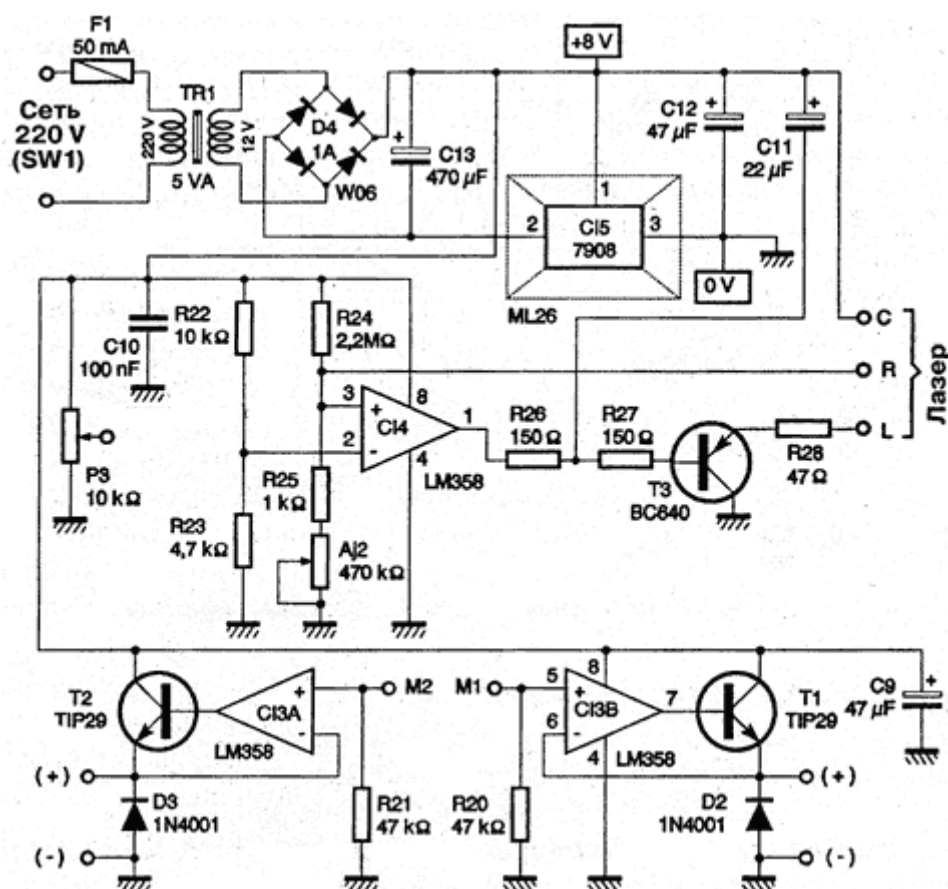


Рис.2.20. Схема живлення пристрою електрична принципова.

Схема стабілізатора працює таким чином. Припустимо, що резистор AJ1 відрегульований на певний струм; тоді, якщо потужність пучка зменшиться, то потенціал на прямому вході знизиться, викликаючи зменшення вихідної напруги на виході 1 підсилювача СІ4. Базовий струм транзистора ТЗ збільшиться, що

лазерного випромінювання і джерело попереднього підігріву оброблюваного матеріалу, що складається з еліпсоїдного відбивача, в зоні випромінюючого фокусу якого встановлені електроди й оптичної системи фокусування, забезпечено світлопроводом, один кінець світловода з'єднаний з джерелом лазерного випромінювання, а інший - з оптичною системою фокусування.

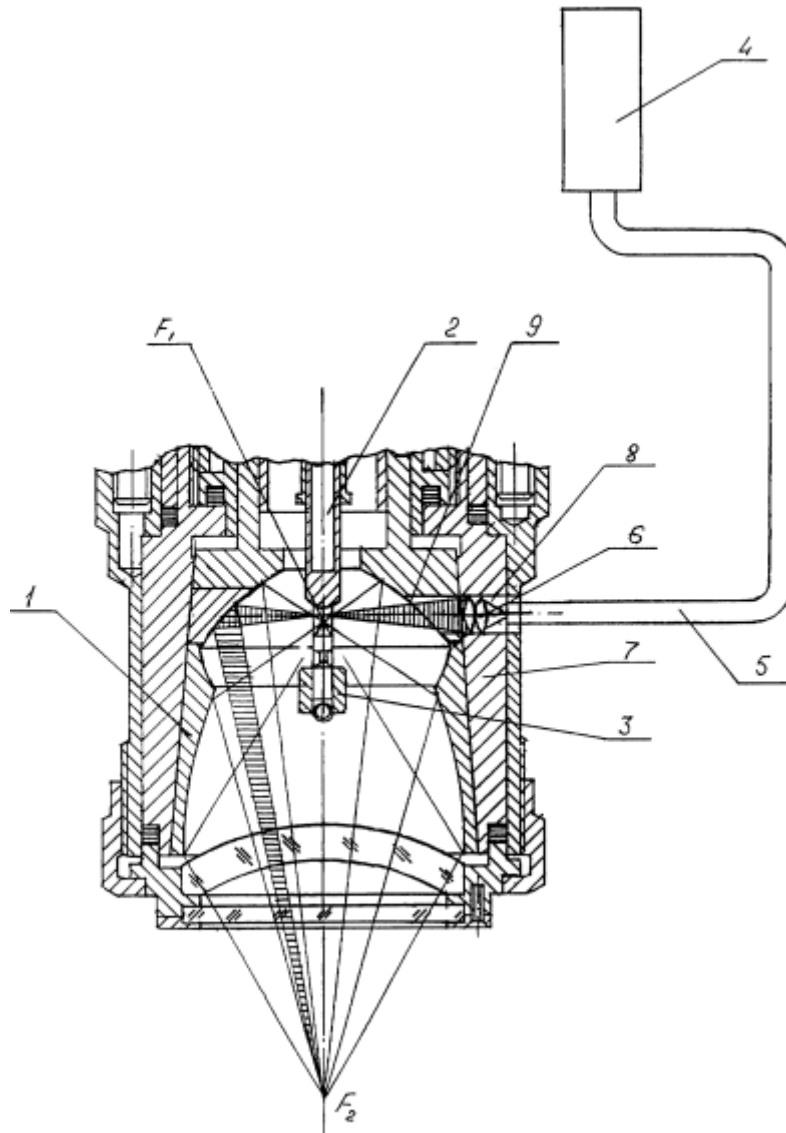


Рис.2.21. Фокусуюча оптична система пристрою

Відображувач може бути виконаний зі вставкою, що має вхідний отвір для проходження лазерного променя, оптична система фокусування розташована в отворі кільцевої вставки з можливістю поєднання оптичної осі світловода з оптичною віссю оптичної системи фокусування, яка проходить між електродами. Кільцева вставка може бути виконана з еліпсоїдною або відбиваючою поверхнею

Отримання площинного зображення високої роздільної здатності має чотири важливих особливості:

- гравірування на рівній відстані від поверхні прозорого матеріалу, що забезпечує глибина фокусування лазерного випромінювання, яка не змінюється в процесі;

- всі гравірувальні точки знаходяться на одній площині, тому всі точки мають однаковий відтінок;

- лазерне випромінювання може бути сфокусоване у визначену точку після двох зворотних напрямків;

- зображення потрібно спостерігати приблизно під прямим кутом до площини зображення.

Такий метод визначає, що видима область зображень в одній площині визначається його поперечними розмірами.

Яскравість точки гравірування можна контролювати тільки шляхом зміни розміру лазерно-стимульованого дефекту, що є недоліком такого методу.

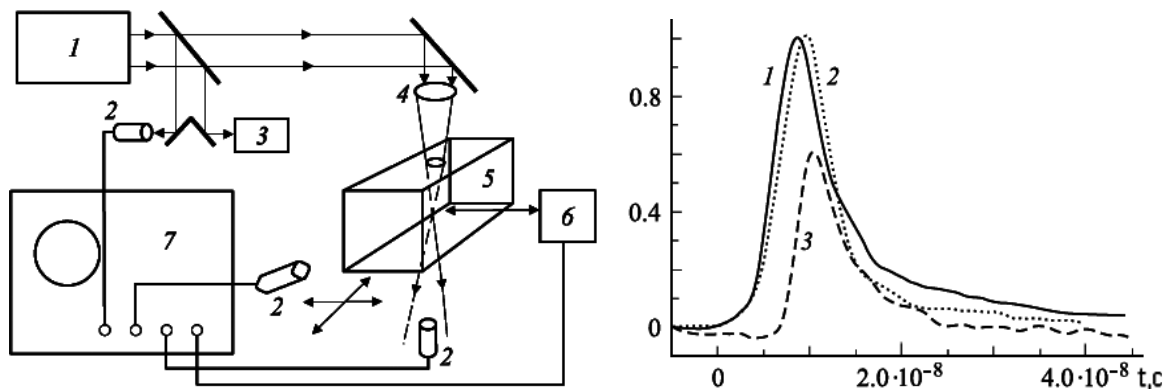
Побудова тривимірного зображення всередині оптично прозорого матеріалу здійснюється за допомогою декількох 2D зображень.

приводять до появи тріщин.

3.1. Методика експерименту

На рис.3.1а представлена блок-схема експерименту. В експериментах використовувався лазер з довжиною хвилі $\lambda=1,06\mu\text{м}$ і тривалістю імпульсу випромінювання $\tau_{0,5}=12,5\text{нс}$. Енергія випромінювання могла регулюватись в межах до 125 і вимірювалася калориметром. Зразки представляють собою поліровані паралелепіпеди з розмірами $\sim 50\times 50\times 20\text{мм}$. Одна з площин зразка з попередньо нанесеним алюмінієвим покриттям була дзеркалом лазерного інтерферометра Майкельсона з стабілізованою робочою точкою і фотоелектричним рахунком смуг. Тимчасова роздільна здатність інтерферометра була не гірше 2 нс.

Випромінювання фокусувалася в об'ємі зразка короткофокусної лінзою ($f=27\text{мм}$) через площину, ортогональну дзеркальній, при цьому фокальна область поєднувалася з вимірювальним променем інтерферометра.



а б

Рис.3.1. а – блок схема експерименту: 1 – лазер, 2 – фотодіод, 3 – калориметр, 4 – лінза ($f=27\text{мм}$), 5 – зразок, 6 інтерферометр, 7 осцилограф;

б – характерні імпульси випромінювання (крива 1 – імпульс опромінення, 2 – пройдене випромінювання, 3 – випромінювання плазми)

Контроль потужності лазерного випромінювання до і після зразка, а також тимчасові параметри імпульсу випромінювання плазми оптичною пробою (рис.3.1б), здійснювався вакуумними фотодіодами ФЕК-09, сигнал з яких

використовувався і для синхронізації тракту реєстрування. Реєстрація електричних сигналів здійснювалася осцилографом.

Кожне наступне опромінення зразка здійснювалося далеко від місця попереднього пробою з плавним збільшенням енергії. Така методика дозволяє з достатньою точністю визначати поріг оптичного пробою, а також зіставляти характер і обсяг пошкодження з величиною енергії опромінення та даними про зміщення поверхні зразка.

Кожне наступне опромінення зразка здійснювалося далеко від місця попереднього пробою з плавним збільшенням енергії. Така методика дозволяє з достатньою точністю визначати поріг оптичного пробою, а також зіставляти характер і обсяг пошкодження з величиною енергії опромінення та даними про зміщення поверхні зразка.

Зсув поверхні зразка в результаті впливу акустичного імпульсу, генерованого лазерним випромінюванням в області фокусу, для малих переміщень $u(t) < \lambda/10$ дорівнює

$$u(t) = \frac{\lambda}{2\pi} \arccos \sqrt{\frac{i(t)}{\Delta i}}$$

де $u(t)$ – зміщення поверхні зразка, λ – довжина хвилі лазерного інтерферометра $\lambda=0,6328$ мкм, $i(t)$ – струм на виході фотоприймача інтерферометра, Δi – зміна струму при зміщеннях, які перевищують $\lambda/4$. Диференціюванням вимірних часових залежностей зміщення вільної поверхні зразків отримували значення швидкостей зсуву, наведені нижче.

Дані про швидкість зсуву $V(t)$ поверхні в пружному наближенні та припущенні сферичної симетрії задачі дозволяють визначити величину механічної енергії, що виділяється як при тепловому механізмі впливу імпульсного випромінювання на прозоре середовище, так і при оптичному пробої.

Зміна механічної енергії W при поширенні пружної хвилі можна представити:

На рис.3.2а представлені характерні тимчасові профілі швидкості вільної поверхні при пробіє однофазного і двофазного скла. Привертає увагу певна різниця тривалостей позитивних фаз імпульсів, які відповідають стиску, що, можливо, зв'язано з різноманітними мікроструктурами однофазного і двофазного скла.

На рис.3.2,б наведені залежності максимальних значень швидкості вільної поверхні зразків від величини енергії опромінення. Розрив на залежностях $V=f(E)$ (рис.2б) зумовлений переходом від термопружного механізму створення акустичного сигналу до вибухового механізму при оптичному пробіє зразка. Залежності $V=f(E)$ при енергіях опромінення вище порогу оптичного пробіє істотно нелінійні, але характер їх змін подібний як для однофазного, так і для двофазного скла.

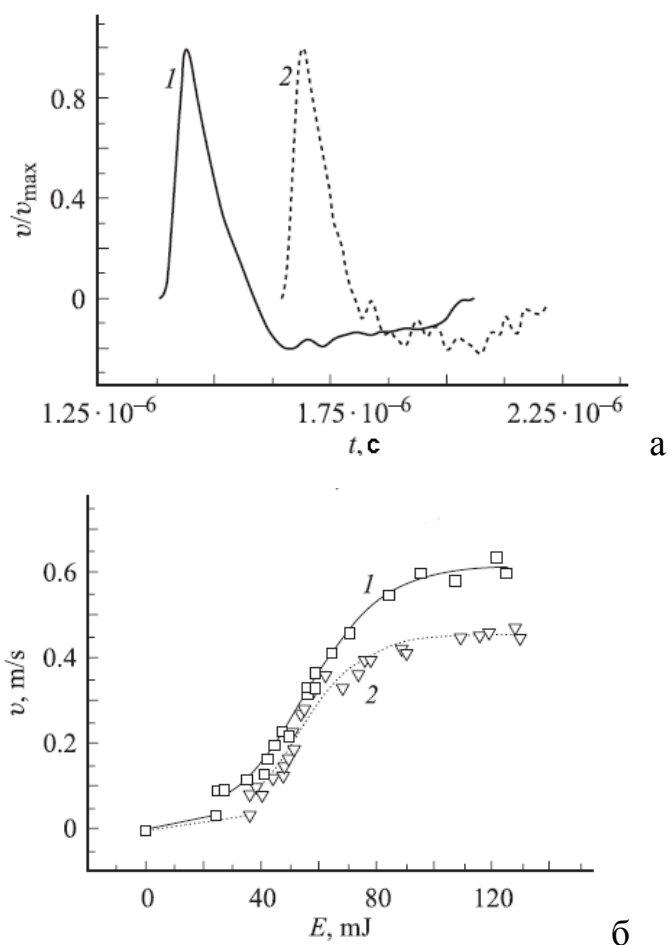


Рис.3.2. Профілі швидкості вільної поверхні при пробіє скла

На рис.3.2,б наведені залежності максимальних значень швидкості вільної поверхні зразків від величини енергії опромінення. Розрив на залежностях $V=f(E)$ (рис.2б) зумовлений переходом від термопружного механізму створення акустичного сигналу до вибухового механізму при оптичному пробію зразка. Залежності $V=f(E)$ при енергіях опромінення вище порогу оптичного пробію істотно нелінійні, але характер їх змін подібний як для однофазного, так і для двофазного скла.

Вплив мікроструктури проявляється у відмінності порогів оптичного пробію. У двофазному склі поріг пробію на $\sim 30\%$ вище, що узгоджується з результатами робіт з дослідження променевої міцності подібного скла і зв'язується зі зменшенням ефекту самофокусування через вплив меж розділу фаз і різниці в показниках заломлення фаз.

На рис.3.2а представлені розраховані з експериментальних даних залежності енергії пружної хвилі від енергії опромінення, а на рис.3.2б – збільшений фрагмент цих залежностей в області малих значень енергії, де відбувається зміна механізму генерації пружних хвиль.

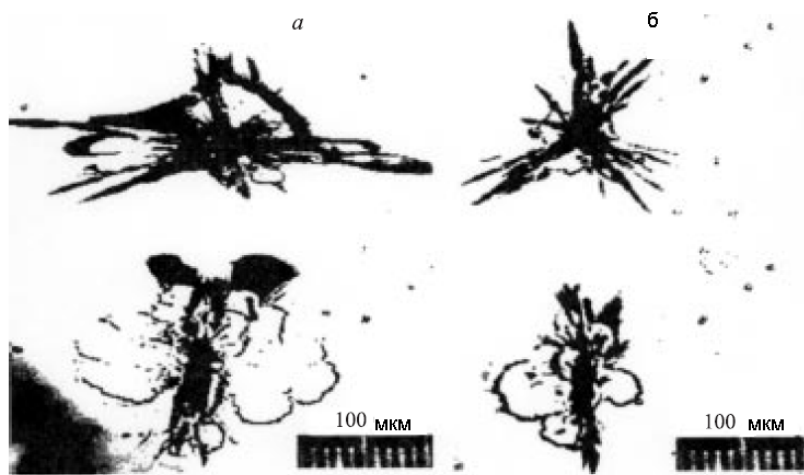


Рис.3.3. Характерний вигляд зон пошкодження а – однофазне, б – двофазне скло

Вважаючи, що енергія пружних хвиль дорівнює зміні внутрішньої енергії в області виділення енергії випромінювання, в рамках теплового механізму і відсутності дисипації можна провести оцінки оптичного поглинання досліджуваних матеріалів із співвідношення $A=W/E$.

Тоді для коефіцієнтів оптичного поглинання із залежності $W(E)$ (рис.3.3б) отримуємо для однофазного скла $A=0.077$ і 0.063% - для двофазного, що досить добре відповідає літературним даним і узгоджується з результатами, отриманими для кварцового скла - $A = 0.04\%$. Зауважимо, що такі оцінки поглинання при енергіях опромінення, що перевищують поріг пробою, навряд чи достатньо коректні, тому що виникає при оптичному пробі плазма вносить істотні зміни в механізм поглинання.

Таким чином, експериментальні результати показують, що вплив елементів мікроструктури, характерний масштаб яких $\sim 10^2$ нм, помітно позначається на оптичних властивостях та променевій стійкості скла.

Істотний інтерес представляють дослідження залежності розвитку каналу оптичного пробою і області руйнування (розтріскування) від енергії опромінення для скла з різною структурою. Вивчення характерних особливостей руйнувань в результаті оптичного пробою в обсязі зразків з різною структурою проводилося на оптичному мікроскопі.

Типовий вигляд руйнувань в обсязі одно- та двофазних зразків при однакових значеннях енергії опромінення представлений на рис.3.2а,б, де наведено фотографії зон руйнувань, зроблені у двох ортогональних площинах. Значно менші розміри каналу пробою і області руйнування спостерігаються в двофазній склі.

Проведення досліджень у двох ортогональних площинах дозволило з дуже високою точністю визначити розміри каналу пробою при різних значеннях енергії опромінення, а також оцінити розміри областей розтріскування навколо каналу пробою, хоча і з більшою похибкою. Дані, отримані усередненням результатів з вимірювань 5-7 зон руйнування, що утворилися при одній і тій же енергії опромінення, представлені на рис.3.5. На рис.3.5а наведені залежності зміни обсягів каналу оптичного пробою $V_d(E)$ в одно-та двофазному склі, а на рис.3.5б - залежності обсягів області розтріскування $V_h(E)$.

Як видно, характер залежностей $V_d(E)$ і $V_h(E)$ зберігається для скла з різною мікроструктурою, але кількісні значення вимірюваних обсягів значно

відрізняються. На наведених залежностях чітко виділяються три області з істотно різними похідними dV/dE . Причиною цього є послідовне включення різних фізичних механізмів у процесі розвитку каналу пробую із зростанням енергії опромінення.

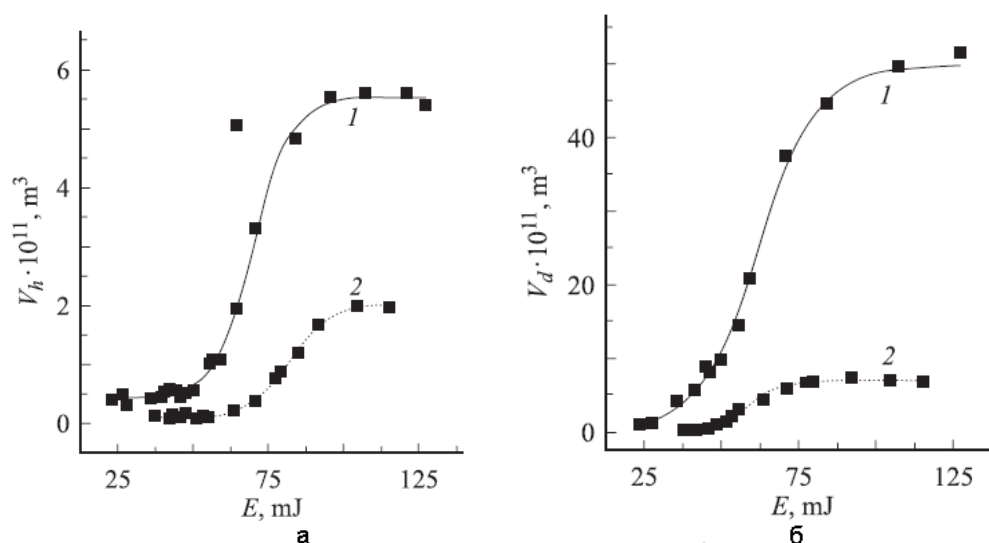


Рис.3.5. Залежність об'єму пробую (V_h) і об'єму пошкодження (V_d) від енергії випромінювання (1 – однофазне, 2 – двофазне скло)

Як видно, характер залежностей $V_d(E)$ і $V_h(E)$ зберігається для скла з різною мікроструктурою, але кількісні значення вимірних обсягів значно відрізняються. На наведених залежностях чітко виділяються три області з істотно різними похідними dV/dE . Причиною цього є послідовне включення різних фізичних механізмів у процесі розвитку каналу пробую із зростанням енергії опромінення.

Початкова, полого, ділянка залежностей $V_d(E)$ в області малих значень енергії, що складають $E \sim 23-52$ для однофазного скла і $38-63$ - для двофазного, визначається власне ефектом оптичного пробую - виникненням електронної лавини в фокальній області і, як наслідок, створенням плазми. Друга ділянка з високим значенням dV/dE обумовлена зростанням температури плазми пробую із зростанням енергії випромінювання, що призводить до виникнення світлодетонаційної хвилі, що розповсюджується назустріч випромінювання ($E \sim 50-90$ для однофазного скла і $65-100$ - для двофазного). Цей ефект і є причиною

швидкого збільшення обсягу каналу пробою.

У той же час із збільшенням обсягу каналу пробою зростають втрати енергії плазми, пропорційні збільшенню поверхні каналу (пере-випромінювання, тепловідвід та ін), а також зменшується підвідна до неї щільність енергії опромінення при сумірності довжини каналу і довжини фокальної перетяжки. Енергетичні умови для підтримки світлодетонаційної хвилі перестають виконуватися, що і призводить до значного уповільнення зростання обсягу каналу пробою при $E > 90$ для однофазного скла і $i > 100$ - для двофазного.

Таким чином, мікроструктура двофазного скла позначається і на енергетичних порогах прояву тих чи інших фізичних процесів оптичного пробою і на його властивості міцності, що визначають розвиток руйнування. Значно менший обсяг області руйнування в двофазному склі забезпечується, мабуть, визначальним впливом більш міцної висококремнезивної фази.

З точки зору міцності скла інтерес представляє аналіз залежності питомої щільності механічної енергії ($w = W/V_h$) і залежності зміни обсягу області руйнування (розтріскування) щодо обсягу каналу пробою ($\delta V_g/V_h - 1$) від енергії опромінення для різного скла. Ці залежності представлені на рис.3.6 а,б. а – залежність питомої густини механічної енергії $W_v(E)$, б – залежність відносної зміни об'єму області розтріскування від енергії опромінення (1 – однофазне, 2 – двофазне, 3 – кварцове скло). Для порівняння на них представлені також залежності для кварцового скла, отримані в роботі.

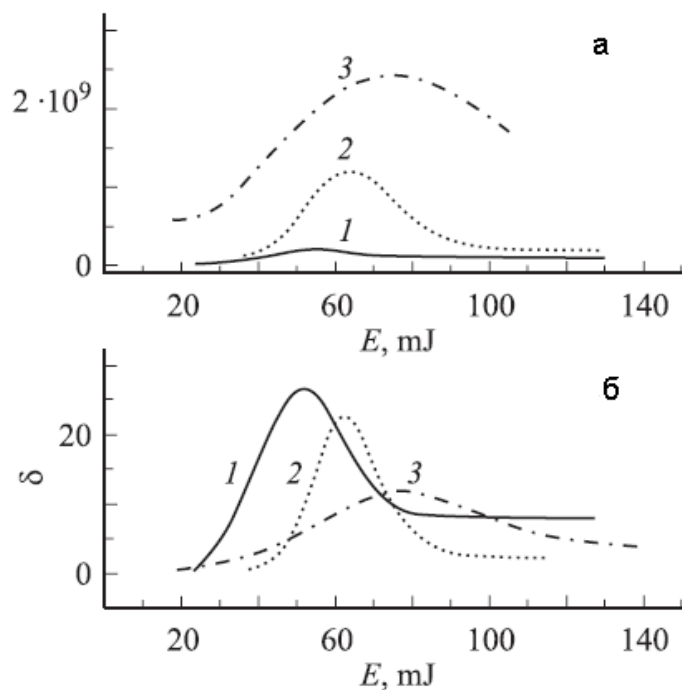


Рис.3.6.

Характер залежностей зумовлений послідовністю зміни фізичних процесів, що визначають розвиток оптичного пробою зі збільшенням енергії опромінення. Для кожного досліджуваного скла максимальні значення відносної зміни обсягу області руйнування (δ_m) і максимальні значення питомої щільності пружної енергії (w_m) спостерігаються при одній і тій же характерній для даного скла енергії опромінення. Максимальні значення представлених залежностей реалізуються при значеннях E , відповідних кінця першого досить повільного етапу розвитку каналу пробою (рис.3.5).

За значення об'ємної міцності досліджуваних матеріалів можна прийняти значення об'ємної щільності пружної енергії, що відповідають порогу оптичного пробою (w_0), коли поряд з утворенням каналу пробою виникають лише нечисленні і досить невеликі тріщини крихкого руйнування матеріалу. У табл.3.2 наведено порогові значення w_0 , відповідні тиску при оптичному пробої, а також максимальні значення об'єму щільності потужності (w_m) і відносної зміни об'єму області розтріскування (δ_m).

Таблиця 3.2.

Порогові значення w_0 при оптичному пробої

Зразки скла	w_0 , Дж/м ³ (МПа)	w_m , Дж/м ³ (МПа)	δ_m
Однофазне	0,028 · 10 ⁹ (28)	0,195 · 10 ⁹ (195)	26
Двофазне	0,122 · 10 ⁹ (122)	1,2 · 10 ⁹ (1200)	22
Кварцеве	0,58 · 10 ⁹ (580)	2,4 · 10 ⁹ (2400)	12

Максимальна міцність, що цілком природно, спостерігається у кварцового скла. Мінімальною міцністю володіє однофазне скло. Міцність двофазного скла виявляється більш ніж в чотири рази вище, тобто вплив елементів структури висококремнезійної фази дуже велике, незважаючи на не настільки істотну відмінність пружних модулів фаз (табл. 3.1). Мабуть, основним чинником, що визначає значне збільшення міцності двофазного скла, є саме наявність двокаркасної структури нанометрового масштабу.

1. Найбільш перспективним в економічному та технічному плані є метод, який поєднує вплив двох імпульсів лазерного випромінювання: підготовчого, який діє на велику область в матеріалі і робочого, який локалізований в малому об'ємі. Разом дія двох імпульсів сприяє створенню точки локальної неоднорідності в матеріалі.

2. Створена програма керування для крокового двигуна, що рухає вузол фокусування лазер. Це дає можливість без зайвого втручання в процес обробки отримати зображення високої роздільної здатності всередині прозорого матеріалу.

3. Проведено експериментальні дослідження впливу наноструктури двофазного скла на поріг лазерного пробою в процесі лазерно-стимульованого дефекту. З результатів експерименту можна зробити висновок що мінімальною міцністю володіє однофазне скло. Міцність двофазного скла виявляється більш ніж в чотири рази вище, тобто вплив елементів структури висококремнезійної фази дуже велике, незважаючи на не настільки істотну відмінність пружних модулів фаз.

4. Пристрій, що пропонується в даному проекті, має кращі перспективи та є більш досконалим серед розглянутих аналогів за технічними і технологічними показниками.

60				ДП.ДЕ-22.12..000 ПЗ	Лист
№ лист	№ докум.	Піш.	Дата		

матеріалу здійснюється за допомогою декількох 2D зображень.

Лазерне 3D гравірування може виконуватися у звичайному силікатному склі, плавленому або кристалічному кварці, кристалі, алмазі і інших прозорих для випромінювання лазера кристалах.

4. Найбільш перспективним в економічному та технічному плані є метод, який поєднує вплив двох імпульсів лазерного випромінювання: підготовчого, який діє на велику область в матеріалі і робочого, який локалізований в малому об'ємі. Разом дія двох імпульсів сприяє створенню точки локальної неоднорідності в матеріалі.

5. Створена програма керування для крокового двигуна, що рухає вузол фокусування лазер. Це дає можливість без зайвого втручання в процес обробки отримати зображення високої роздільної здатності всередині прозорого матеріалу.

6. Проведено експериментальні дослідження впливу наноструктури двофазного скла на поріг лазерного пробою в процесі лазерно-стимульованого дефекту. З результатів експерименту можна зробити висновок що мінімальною міцністю володіє однофазне скло. Міцність двофазного скла виявляється більш ніж в чотири рази вище, тобто вплив елементів структури висококремнезійної фази дуже велике, незважаючи на не настільки істотну відмінність пружних модулів фаз.

7. Пристрій, що пропонується в даному проекті, має кращі перспективи та є більш досконалим серед розглянутих аналогів за технічними і технологічними показниками.

8. При експлуатації приладу необхідно дотримуватись правил безпеки, оскільки в ньому застосовуються лазер високої потужності, що є небезпечним для зору (можуть викликати опік сітківки ока) та шкіри людини.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гладуш Г. Г. «Фізичні процеси при лазерній обробці матеріалів». 1985 - 208с.
2. Григорян А. Г. "Основи лазерної обробки матеріалів". 1989 - 301с.
3. Рікалін М. М. «Лазерна обробка матеріалів». 1975 - 296с.
4. Maini AK. Lasers and Optoelectronics: Fundamentals, Devices and Applications. United Kingdom: John Wiley & Sons. 2013.
5. Schuöcker D and Schuöcker G CO2 laser in Advanced Laser Materials Processing, OMICS Group ebook 2014.
6. Genna S, et al. Experimental Investigation On Laser Milling of PMMA Sheet. In Times of Polymers (TOP) and Composites 2014 AIP Conf Proc. 2014;245:242-245.
7. Jiang SX, et al. The effect of laser engraving on aluminum foil-laminated denim fabric. Text Res J. 2016; 86:1-14.
8. Asaka S, et al. Nanosecond pulsed laser irradiation of sapphire for developing microstructures with deep V-shaped grooves. Precis Eng pp 2018.
9. Dharmesh KP. Parametric Optimization of Laser Engraving Process for SS 304 using Grey Relational Technique. GANPAT UNIVERSITY. 2014.
10. Mladenovic V, et al. Investigation Of The Laser Engraving of Aisi 304 Stainless Steel Using A Response-Surface Methodology 2016;1:265-271.
11. Saklakoglu IE and Kasman S. The effect of process parameters on the surface form of laser engraved H13 tool steel. Kov Mater Mater 2013;5:317-325.
12. . Chen HW, Lee JH, Lin BY, Chen S, Wu ST , Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and future perspectives. 2018. -Light: Sci Appl 7:17168.
13. Teng T.C., Tseng L.W. Planar apparatus for uniformly emitting light with angular color-separation. 2015. -Opt Express 23:A553–A568.
14. Teng T.C., Sun C.H. Integrating backlight with color-filter-free panel for enhancing performance of LCD. 2020. -IEEE Photonics J 12:7000116.

15. Yoon G, Bae S, Lee Y, Yoon J () Edge-lit LCD backlight unit for 2D local dimming. 2018. -Opt Express 26:20802–20812.
16. Yan Z., Du C., Xie Y. Analysis of Low profile head up display using light-guided technology. 2020. -Optik 203:164056.
17. S. Burdette, D. Joshi, A. Tremper, H. Vepakomma. Mechanics of ultra-slim television sets with glass light guide plate, SID 2017 Digest, Japan, 1209–1212.
18. . K. Hsiao, R. Chien, J. Chang, D. Li, X. Xu. 3.9-mm ultra-slim curved TV having a glass light-guide plate, SID 2017 Digest, Japan, 1205–1208.
19. Quesada M., Li S., Senaratne W., Walczak W., All-glass, lenticular lens light guide plate by mask and etch. 2019. -Opt Mater Express 9:1180–1190.
20. Ye Z., Pai Y., Chen C., Kuo H., Chen L. A light guide plate that uses asymmetric intensity distribution of mini-LEDs for the planar illuminator. 2019. -Curr Comput-Aided Drug Des 9:141.
21. Petrovic J. Durability of the refractive index change induced by a single femtosecond laser pulse in glass. 2019. -Opt Mater X 1:100004.

Додаток А. Програма керування кроковим двигуном

```

DOSSEG
.MODEL SMALL                ; модель пам'яті
.STACK 100h                 ; сегмент стека розміром 100h
.DATA                       ; сегмент даних
TEXT1      DB  'Число кроків на один оберт - ', 0DH, 0AH, '$'
RESULT DB  ' ', 0DH, 0AH, '$' ; число кроків на 1 оборот в ASCII
TEXT2 DB  'Здайте число кроків за часовою стрілкою - ', 0DH, 0AH, '$'
TEXT3 DB  'Здайте число кроків проти часової стрілки - ', 0DH, 0AH, '$'
TEXT4 DB  'Здайте час одного кроку в мкс (від 2000 до 65000) - ', 0DH,
0AH, '$'
err_msg db  'Bad number entered'
crlf      db  0Dh,0Ah,'$'
buffer   db  6                ; максимальний розмір буфера вводу
blength db  ?                ; розмір буфера після зчитування
bcontents DB  10 DUP (0)     ; вміст буфера

ST_MCSDW  0                ; старший байт мікросекунд
ML_MCS    DW  10000        ; молодший байт мікросекунд
COUNT_T  DW  1            ; лічильник кроків в повному оберті
COUNT_L  DW  0            ; лічильник кроків вліво
COUNT_R  DW  0            ; лічильник кроків вправо
ERROR     DB  0            ; помилка

.CODE                       ; сегмент коду
main      proc              ; початок процедури main
    mov ax, @DATA
    mov ds, ax              ; встановить регістр DS
    mov es, ax

    MOV AH, 09H
    MOV DX, OFFSET TEXT1
    INT  21H                ; вивід повідомлення
    MOV AL, 00010001B

H1:      ROL AL, 1          ; встановить вал в початкове
положення
    MOV DX, 378H            ; адрес регістра даних LPT
    OUT DX, AL
    PUSHAX
    CALL TIME               ; затримка кроку
    MOV DX, 379H            ; адрес регістру стану LPT

```

IN AL, DX
TEST AL, 08H ; аналіз стану фототранзистора
POP AX
JNZ H1 ; повторити, якщо не начало

H2: ROR AL,1 ; крокуємо направо
INC COUNT_T ; накопичуємо лічильник кроків

MOV DX, 378H
OUT DX, AL
PUSHAX
CALL TIME
MOV DX, 379H
IN AL, DX
TEST AL, 08H
POP AX
JNZ H2

MOV AX, COUNT_T ; перекодуємо в ASCII и виводимо кроки
CALL HEX2DEC ; на монітор

MOV AH, 09H
MOV DX, OFFSET TEXT2
INT 21H ; вивід повідомлення
CALL DEC2HEX ; вводим число кроків вліво
; перекодуємо із ASCII в двійковий

числа

TEST ERROR, 1
JNZ FIN ; кінець, якщо неправильний ввід

MOV COUNT_L, AX ; зберігаємо число кроків вліво

MOV AH, 09H
MOV DX, OFFSET TEXT3
INT 21H ; вивід повідомлення
CALL DEC2HEX ; вводим число кроків вправо і
; перекодуємо із ASCII в двійковий

числа

TEST ERROR, 1
JNZ FIN ; кінець, якщо неправильний ввід

MOV COUNT_R, AX ; зберігаємо число кроків вправо

MOV AH, 09H
MOV DX, OFFSET TEXT4
INT 21H ; вивід повідомлення
CALL DEC2HEX ; вводим час кроку і
; перекодуємо із ASCII в двійковий

```

TEST ERROR, 1
JNZ FIN ; кінець, якщо неправильний ввід
числа
MOV ML_MCS, AX ; зберігачем час кроку

MOV AL, 00010001B
H3: ROL AL, 1 ; крутимо двигун вліво
MOV DX, 378H
OUT DX, AL
PUSHAX
CALL TIME
DEC COUNT_L
POP AX
JNZ H3

H4: ROR AL, 1 ; крутим двигун направо
MOV DX, 378H
OUT DX, AL
PUSHAX
CALL TIME
DEC COUNT_R
POP AX
JNZ H4

FIN: mov ah, 4ch ; функція DOS завершення програми
int 21h ; завершити програму
main endp ; кінець процедури main

HEX2DEC PROC NEAR

MOV DI, OFFSET RESULT ;адреса результату

MOV BX, 10 ;дільник
XOR CX, CX ;лічильникцифр в 0
DIVLP: XOR DX, DX
DIV BX ;розділити число на 10
ADD DL, '0' ;добавити до остатку ASCII ?код нуля
PUSHDX ;записати цифру в стек
INC CX ;збільшити лічильник цифр
TEST AX, AX ;і, якщо ще є, що ділити,
JNZ DIVLP ;продовжити ділення

STORE: POP AX ;рахувати цифру із скла
STOSB ;дописати її в кінець рядка в ES:DI
LOOP STORE ;продовжити для всіх CX цифр

```

```

;MOV      BYTE PTR ES:[DI], '$' ;дописати '$' в кінець рядка

MOV DX, OFFSET RESULT      ;в DX адрес рядка
MOV AH, 9
INT  21H                    ;вивід рядка
RET
HEX2DEC  ENDP

```

```

TIME      PROC      NEAR      ; затримка в мікросекундах
MOV AH, 86H
MOV CX, ST_MCS
MOV DX, ML_MCS
INT  15H
RET
TIME      ENDP

```

```

DEC2HEX  PROC      NEAR
mov dx, offset buffer
mov ah, 0Ah
int  21h                    ; рахувати сторінку символів в буфер
mov dx, offset crlf
mov ah,9
int  21h                    ; перевод рядка

```

; перевод числа в ASCII-форматі из буфера в бінарне число в AX

```

xor di,di                    ; DI = 0 - номер байта в буфері
xor ax,ax                    ; AX = 0 - дане значення результату
mov cl,blength
xor ch,ch
xor bx,bx
mov si,cx                    ; SI - довжина буфера
mov cl,10                    ; CL = 10, множник для MUL

```

asc2hex:

```

mov bl,byte ptr bcontents[di]
sub bl,'0'                    ; цифра = код цифри - код символа "0"
jb  asc_error                ; якщо код символа був менше, чим код "0",
cmp bl,9                      ; або більше, чим "9",
ja  asc_error                ; вийти з програми з повідомленням про

```

помилку

```

mul cx                        ; інакше: помножити даний результат

```

на 10,

```

add ax,bx                    ; додати до нього нову цифру,

```

```

inc di                        ; збільшення лічильника

```

```

cmp di,si                    ; якщо лічильник+1 менше числа

```

СИМВОЛІВ -

```

        jb     asc2hex          ; продовжити(лічильник від 0)

        ret                    ; завершення підпрограми (результат
в AX)

asc_error:  MOV ERROR, 1      ; помилка
            mov dx,offset err_msg
            mov ah,9
            int 21h          ; вивести повідомлення про помилку
            ret              ; і закінчити підпрограму
DEC2HEX   ENDP

end      main                ; кінець програми з точкою входу main

```

Додаток В.
S U M M A R Y

Device for processing materials with a laser beam

The diploma project presents a review of the scientific and technical literature on methods and devices for laser processing of materials to create arrays of inhomogeneity points in the volume of materials transparent to radiation, which can form an image inside a transparent material.

The prospects of using such devices to create information volume arrays of inhomogeneity points for household and industrial products are considered.

Focusing is carried out using a dynamic optical system. Movement of the optical system is carried out by stepper motors along three coordinates during computer control of the device.

The functional scheme of the device, the electrical schematics of the device power supply and stepper motor control, the design of the focusing optical system of the laser material processing device, which provides the following functions, were developed:

- the characteristic size of the produced point of structural heterogeneity is 5 μm ;
- minimum distance between points of structural inhomogeneity – 15 μm ;
- the spatial base of movement of the optical system of the device $X=175\text{ mm}$, $Y=175\text{ mm}$, $Z=50\text{ mm}$.
- resolution of generation of information points and volume of material – 10 μm .

A three-coordinate stepper motor control program was written.

A study of the influence of the nanostructure of two-phase glass on the laser breakdown threshold in the process of generating a laser-stimulated defect was conducted, which proved that single-phase glass has the minimum strength. The strength of two-phase glass is more than four times higher.

Laser processing of materials, in the usual sense, means local heating, local melting or local evaporation of the material being processed due to the effect of heat generated in the material at the point of impact of the laser beam. Depending on the power

density of the laser exposure, the material may heat up, melt or evaporate. Power density is the amount of power per unit area, usually a square centimeter. For example, most metals vaporize at power densities exceeding several million watts per square centimeter.

Thanks to the ability to focus laser radiation on the object into a small spot, it is possible to achieve such values of power density at which the most refractory and hard materials are vaporized. For example, when focusing a laser beam with a power of only 1 W into a spot of 10 microns, a power density similar to the power of one million watts per square centimeter will already be achieved.

The laser beam can be focused into a spot the size of which is only a few microns. This circumstance also determines the possible ultimate accuracy, purity of processing and informativeness. Processing of large surfaces or processing of complex trajectories occurs by moving the laser beam along the surface of the product being processed. Precise movement according to a given law is ensured by spatial beam control systems (scanners) or by moving the processed material under a stationary beam, as is the case on mechanical movement machines controlled by stepper motors - CNC machines (numerical program control).

The purpose of the work is to design a device for laser processing of materials and to develop a technique for creating information arrays of inhomogeneity in the volume of a transparent dielectric material.

1. Methods of laser engraving

The main advantage of this method of application over others is the speed of execution and durability of the applied image. Therefore, today laser engraving is the most priority way of applying images on almost any materials.

The resulting images are distinguished by the highest quality, accuracy and modern design. The very method of application ensures "lifelong" stability of images, unavailable to other printing methods.

This technology allows you to apply a non-contact image on the surface of the product using a laser beam. Affecting the surface of the product, the laser beam causes

a change in the structure of the material, melts and evaporates the upper layers from its surface. Due to this, the applied image becomes visible.

Engraving can be contour or raster.

Contour engraving - a laser beam draws contours of letters, logos in the form of thin lines.

Raster engraving - a laser beam draws an image consisting of points of different density, which achieves an almost photographic image.

It is also possible to cut out any necessary shapes with the help of laser engraving. Laser engraving allows you to apply images or text on any materials and products made of wood, plastic, metal, glass, leather, rubber, marble or crystal.

Laser 3D engraving can be performed in ordinary silicate glass, fused or crystalline quartz, crystal and some crystals. Most often, laser 3D graphics are performed in optical glass, which has high transparency, purity and uniformity.

By the method of three-dimensional engraving, a drawing is created in the volume of the material consisting of an array of points. Dots in a transparent material appear as a result of micro-explosions initiated by a laser beam. Engraving in glass and the image obtained in the process of three-dimensional engraving are considered to be of higher quality, the smaller the point.

Focused laser radiation produces local destruction (breakthrough) in the volume of glass, which is observed as a small white dot.

Moving the beam along two coordinates allows you to create a two-dimensional image. Moving the glass along the third coordinate allows you to create a multi-layered three-dimensional image.

2. Power supply unit of the device

The electrical diagram of the laser power supply unit and stepper motors is shown in Fig. 2.20.

The tracking circuit with feedback produces a forward bias current of the laser diode. The stabilizer is automatically regulated by the reverse current of the control diode in order to maintain the set radiation power.

Current regulation is carried out by operational amplifier CI4, the inverse input of which is supplied with a reference voltage of 2.5 V from resistors R22, R23.

The potential at the direct input 3 varies depending on the reverse current of the laser. Indeed, the current of the diode, passing through the resistors R25 and AJ1, turns into a voltage.

The voltage at the output of CI4 depends on the reverse current of the diode, as well as on the tuning resistor AJ1, which sets the power of the beam. The lower the output voltage of CI4, the higher the laser current, and therefore the power.

The capacity of the C11 capacitor determines the delay in the rise of the current through the laser diode, in particular, when the power is turned on.

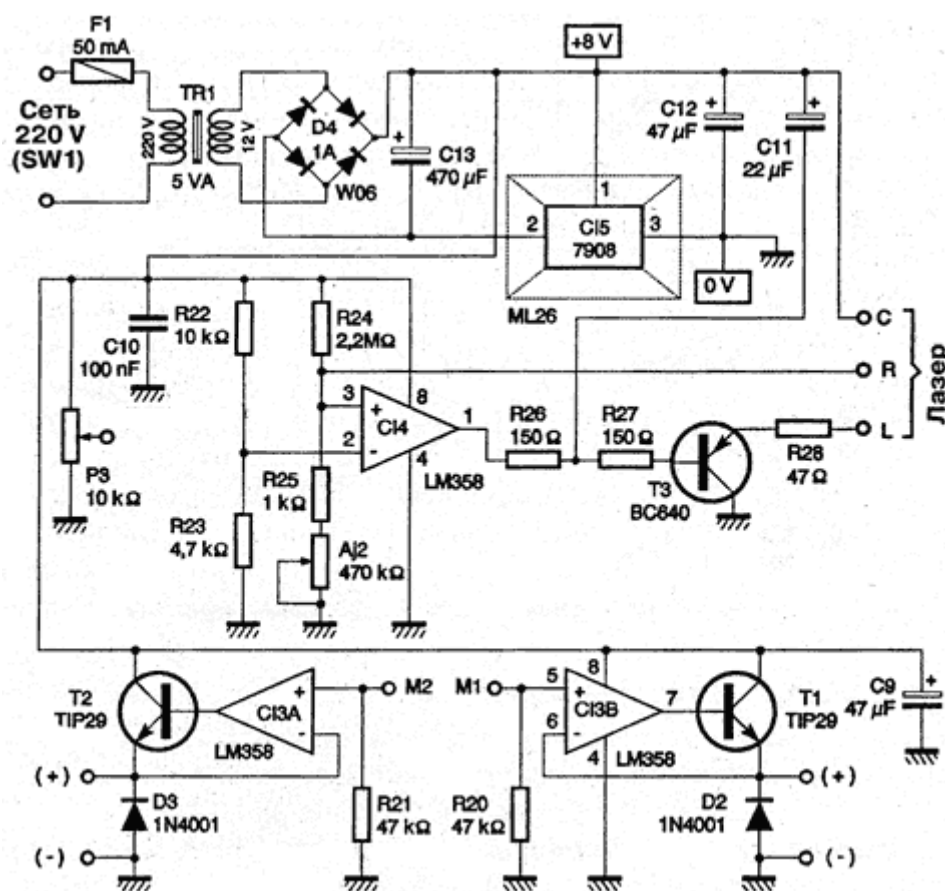


Fig.1. The power supply scheme of the device is basic.

The stabilizer circuit works as follows. Suppose that the resistor AJ1 is adjusted to a certain current; then, if the beam power is reduced, the potential at the forward input will drop, causing the output voltage at output 1 of amplifier CI4 to decrease. The base

current of the TK transistor will increase, which will cause an increase in the collector current, which is the current of the laser diode; thus, the power of the beam will be restored.

Conversely, if the light power increases, the voltage at the direct input of CI4 increases. Therefore, the output voltage of the operational amplifier increases, while reducing the base current of the TK transistor and the current through the laser diode.

3. Focus node

Electrodes are installed in the radiating focus of the ellipsoidal reflector. The optical fiber is connected at one end to the source of laser radiation, and at the other end to the focusing optical system. The reflector has a ring insert with an entrance hole for the passage of the laser beam. A focusing optical system can be placed in the insert hole. The insert can have an ellipsoidal or paraboloidal reflective surface. The focusing optical system (Fig. 2.21) can be located near the end of the reflector at the aperture angle. The device makes it possible to reduce the dimensions of the device and ensure its movement relative to the processed material without disturbing the mutual location of the optical axes of the radiation sources.

The device belongs to the field of laser processing, in particular for processing optically transparent materials. Can be used to make an image inside a transparent material.

The advantage of this device is that it provides very precise movement of two radiation sources without disturbing the mutual location of their optical axes. Therefore, the device is used not only in stationary conditions when moving the processed material, but also when processing large-sized products.

The problem is solved by the fact that the device, which contains a source of laser radiation and a source of preliminary heating of the processed material, consisting of an ellipsoidal reflector, in the zone of the radiating focus of which electrodes and an optical focusing system are installed, is equipped with a light guide, one end of the light guide is connected to the laser source radiation, and the other with an optical focusing system.

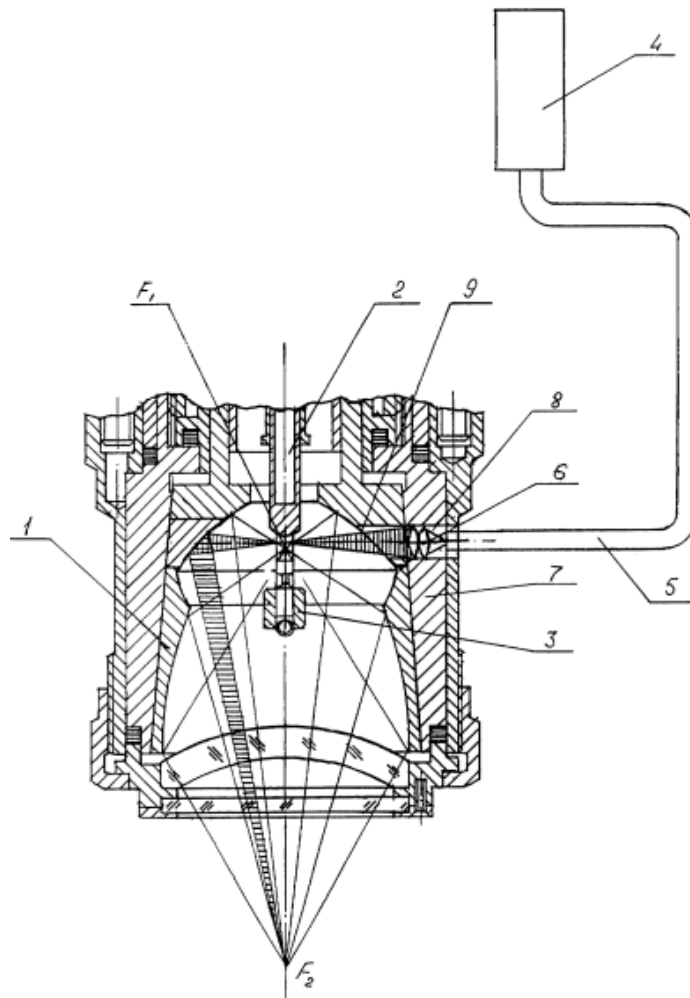


Fig. 2. Focusing optical system of the device

The device for laser processing of materials contains an ellipsoidal reflector 1, inside which electrodes 2 and 3 are located in the area of the radiating focus. The source of laser radiation 4 is located outside the reflector 1. The device also contains a light guide 5 and a focusing system 6. One end of the light guide 5 is connected to the source laser radiation 4, and the other with a focusing system 6.

To place the focusing system 6 in the body 7 and the reflector 1, a hole is made and a ring insert 8 is installed in it, inside which there is a focusing lens 6. It can also be placed near the end of the reflector 1 at its aperture angle. The optical axis of the light guide 5 can be combined with the optical axis of the focusing lens 6. The ring insert 8 can be made of an ellipsoidal or paraboloidal reflecting surface.

The processed product is installed in the working focus of the reflector 1, turn on the power source, excite the arc between electrodes 2 and 3, excite the generation of the laser 4 and bring them to the working mode. Laser radiation 4 passes through the light guide 5, 6 of the focusing system located in the hole of the ring insert 8, crosses the optical axis of the reflector 1 and, reflecting from the walls of the reflector 1, is focused in the working focus of the reflector 1. At this point, the reflected rays of the two radiation sources are summed up and form high density heating spot on the processed product. If the optical focusing system is located near the end of the reflector at its aperture angle, then the laser beam immediately enters the working focus of reflector 1. Light guide 5 allows you to move the device relative to it during material processing, ensuring the movement of the engraving spot to any required point from any spatial trajectory.

					ДП.ДЕ-22.12..000 Додаток А	Лист
В.Лист	№ докум.	Піпп.	Дата			