

УДК 621.315

Г.А.Петровська, Л.І.Бартків, Г.Й.Погань

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра лазерної техніки та оптоелектронних систем

РОЗРАХУНОК І ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОШАРОВИХ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ПОКРИТЬ ЛАЗЕРНИХ ДЗЕРКАЛ

© Г.А.Петровська, Л.І.Бартків, Г.Й.Погань, 2000

Розроблено програму синтезу інтерференційних покриттів дзеркал газових лазерів за заданими спектральними характеристиками для селекції довжин хвиль без використання в резонаторах дисперсійних елементів.

Program of synthesis of interference coatings of mirrors of gas lasers along stipulated spectral characteristics to select wavelengths without using in resonators of dispersion elements is elaborated.

У серійних газових лазерах традиційним є використання резонаторів типу Фабрі-Перо з інтерференційними чвертьхвильовими дзеркалами. Рівність оптичних товщин всіх шарів покриття $\lambda_{\text{роб}}/4$ забезпечує оптимальні оптичні параметри дзеркал на робочій довжині хвилі $\lambda_{\text{роб}}$, однак селективність їх є недостатньою. Для селекції довжин хвиль в лазерах використовують дисперсійні резонатори, добротність яких є нижчою внаслідок використання в них додаткових оптичних елементів, що приводить до зменшення вихідної потужності лазера на робочому переході.

У зв'язку з тим актуальною є розробка і дослідження ефективності використання в газових лазерах нових конструкцій інтерференційних дзеркал, які б забезпечували необхідну селективність і добротність резонаторів без додаткових селектувальних елементів. З цією метою створена програма, яка дозволяє синтезувати інтерференційні покриття за заданими спектральними параметрами дзеркал. В основу програми розрахунку спектральних характеристик інтерференційних структур покладений матричний метод [1], синтез покриттів проводиться з урахуванням дисперсії плівкових матеріалів.

Як відомо, інтерференційні структури типу НЗВН і ВЗНВ, а також Н5ВН і В5НВ (де Н – шар з низьким показником заломлення, а В – шар з високим показником заломлення з оптичними товщинами $\lambda_{\text{роб}}/4$) практично не впливають на зміну пропускання на робочій довжині хвилі, однак істотно змінюють хід спектральної характеристики за межами робочої області.

Отже, проектування інтерференційних покриттів за заданими спектральними характеристиками базується на методі машинного синтезу і полягає у пошуку оптимальної структури варіацією оптичних товщин одного, двох чи трьох довільних шарів в межах $\frac{\lambda_{\text{роб}}}{4} \div \frac{5\lambda_{\text{роб}}}{4}$ з кроком $\lambda_{\text{роб}}/2$. Кратність чверті довжини хвилі $\lambda_{\text{роб}}$ оптичних товщин шарів гарантує постійно високий коефіцієнт відбивання на робочому переході. Обмеження в інтерференційній структурі кількості шарів з товщинами $\frac{5\lambda_{\text{роб}}}{4}$ та $\frac{3\lambda_{\text{роб}}}{4}$ забезпечує необхідну технологічність синтезованих структур.

Результати використання програми можна проілюструвати на прикладі синтезу інтерференційних дзеркал для He-Ne лазерів.

Як відомо, в He-Ne лазері існує три основні переходи, на яких отримується генерація: $3s_2 \rightarrow 3p_4$ (3.39 мкм), $3s_2 \rightarrow 2p_4$ (0.63 мкм) і $2s_2 \rightarrow 2p_4$ (1.15 мкм). Найлегше збуджується перехід, що відповідає довжині хвилі випромінювання 3.39 мкм. Значно складніше отримати генерацію на довжині хвилі 0.63 мкм. Переходи, що відповідають лініям випромінювання 0.63 мкм і 3.39 мкм, мають спільний верхній рівень $3s_2$, а ті, що відповідають лініям випромінювання 1.15 мкм і 0.63 мкм, - спільний нижній рівень $2p_4$. Така конкуренція переходів ускладнює отримання стабільної генерації на лінії 0,63 мкм.

Щоб усунути конкуренцію довжин хвиль на практиці використовують різні способи: накладання на розрядний капіляр поперечного магнітного поля; застосування в резонаторі вікон Брюстера з матеріалів, які вибірково поглинають випромінювання з довжиною хвилі 3.39 мкм; введення в резонатор метанової комірки; а також спеціальні інтерференційні покриття резонаторних дзеркал. Останній спосіб є найефективнішим, оскільки під час його використання в резонатор не вносяться додаткові елементи, що забезпечує високу добротність резонатора на робочій довжині хвилі.

Подавити генерацію на довжині хвилі 3.39 мкм можливо, якщо резонаторні дзеркала будуть просвітленими на цій довжині хвилі. Одночасно вони повинні мати оптимальні характеристики на $\lambda_{\text{роб}}=0,63$ мкм (коефіцієнт пропускання вихідного дзеркала $T=(1-3)\%$ залежно від типу лазера, коефіцієнт відбивання "глухого" дзеркала повинен бути близьким до 100%). У традиційних чвертьхвильових дзеркалах легко реалізується друга умова, однак коефіцієнт відбивання в області випромінювання 3.39 мкм є великим. На рис.1 наведені спектральні характеристики традиційних чвертьхвильових інтерференційних дзеркал He-Ne лазера.

Для розрахунку структур використані дані, що відповідають серійній технології виготовлення дзеркал методом електронно-променевого напилення у вакуумі тугоплавких окислів ZrO_2 і SiO_2 на кварцову підкладку. Показники заломлення тонкоплівкових матеріалів залежно від довжини хвилі розраховують за дисперсійним співвідношенням [2]:

$$n^2(\lambda) = A + \frac{B\lambda^2(\lambda^2 - C^2)}{(\lambda^2 - C^2)^2 + D\lambda^2}$$

де A, B, C, D – оптичні константи тонкоплівкових матеріалів, які визначались експериментально методом зворотного синтезу і для цих матеріалів дорівнюють:

$$ZrO_2 : A=3,386; B=0,382; C=0,307; D=0,007$$

$$SiO_2 : A=1,444; B=0,0046; C=-0,000381 D=-0,002527.$$

На рис.2 і 3 наведено спектральні характеристики просвітлених на 3.39 мкм дзеркал, структури яких синтезовані за допомогою розробленої програми. Глухе дзеркало являє собою 29-шарове інтерференційне покриття, в якому оптичні товщини сьомого і десятого шарів становлять $3\lambda_{\text{роб}}/4$, всієї решти шарів – $\lambda_{\text{роб}}/4$. Така структура забезпечує високе відбивання на 0.63 мкм ($R_{0,63}=99.98\%$) і просвітлення на 3.39 мкм ($R_{3,39}=0.44\%$). Структура вихідного дзеркала – 15-шарове інтерференційне покриття з потовщеними до $3\lambda_{\text{роб}}/4$ другим і дванадцятим шаром, що забезпечує оптимальне пропускання на 0.63 мкм ($T_{0,63}=1.85\%$) і просвітлення на 3.39 мкм ($R_{3,39}=0.44\%$).

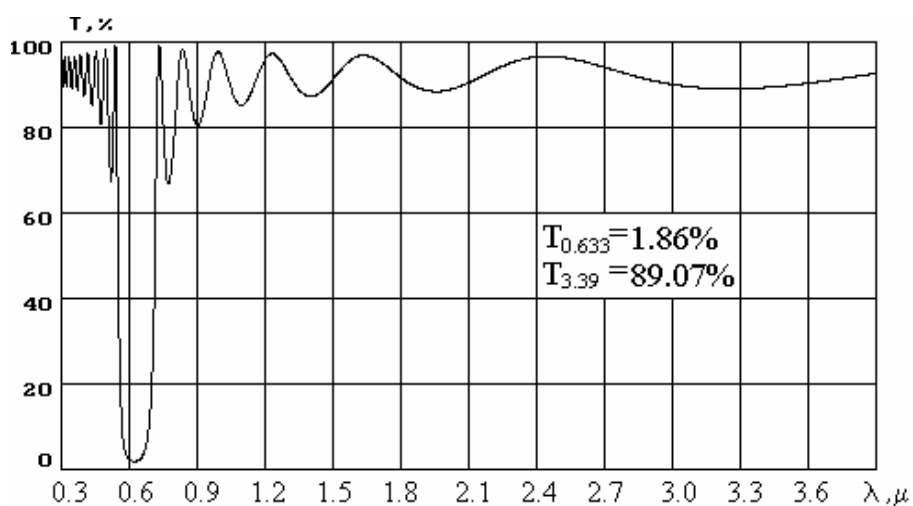
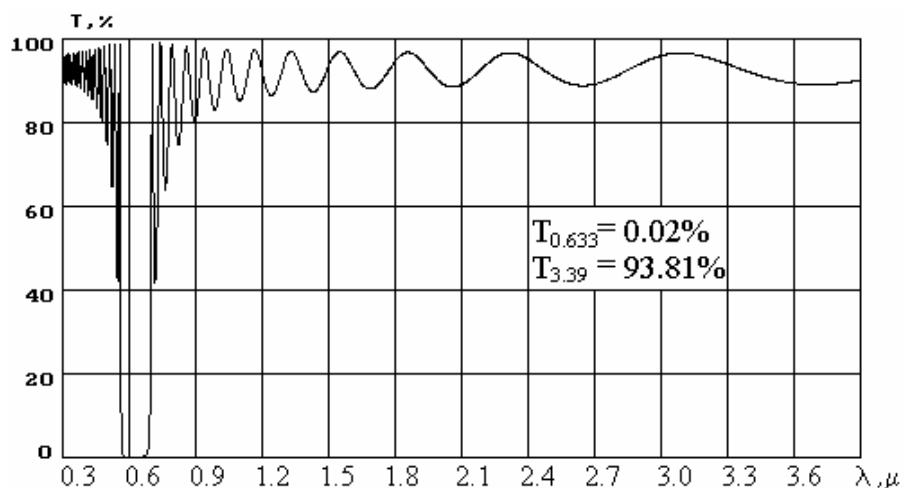


Рис.1. Спектральні характеристики чвертьхвильових інтерференційних структур:
 а) "глухе" дзеркало (29 шарів);
 б) вихідне дзеркало (15 шарів)

Якщо використати для виготовлення дзеркал плівкові матеріали з іншими показниками заломлення, очевидно, що оптимальні конструкції інтерференційних покриттів будуть іншими.

Синтезовані структури були досліджені на предмет відтворюваності оптичних характеристик при наявності технологічних розкидів у товщинах шарів. На рис.4 показано спектральну характеристику синтезованого дзеркала при заданому випадковому розкиді в товщинах шарів у межах 10%.

Результати свідчать, що оптичні параметри дзеркала як на робочій довжині хвилі, так і на конкуруючій, змінюються незначно.

Синтезовані інтерференційні конструкції досліджували також при відхиленні довжини хвилі наплення від $\lambda_{роб}$ в межах $(0.62 \div 0.64)$ мкм. При таких похибках $\lambda_{нап}$ оптичні характеристики дзеркал залишаються в межах норми: "глухе" дзеркало – $T_{0.63} = (0.025 \div 0.031)\%$, $T_{3.39} = (99.40 \div 99.8)\%$; вихідне дзеркало – $T_{0.63} = (1.90 \div 2.11)\%$, $T_{3.39} = (99.40 \div 99.55)\%$.

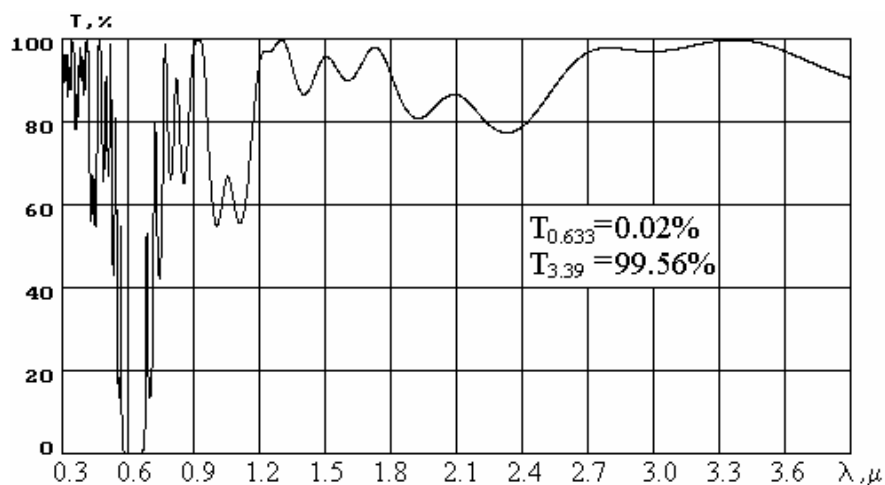


Рис.2. Спектральна характеристика "глухого" дзеркала з просвітленням на 3.39мкм (29 шарів, 7-й

і 10-й шари з оптичними товщинами $\frac{3\lambda_{роб}}{4}$, решта – $\frac{\lambda_{роб}}{4}$)

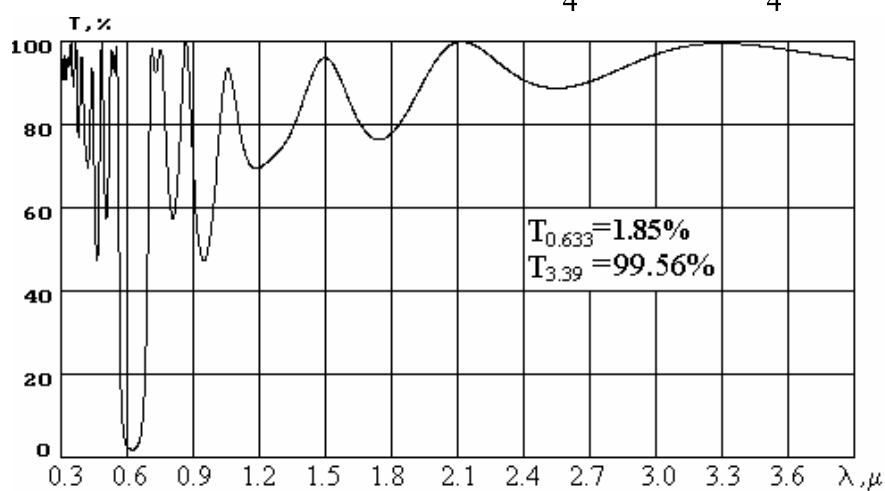


Рис.3. Спектральна характеристика вихідного дзеркала з просвітленням на 3.39мкм (15 шарів, 2-й

і 12-й шари з оптичними товщинами $\frac{3\lambda_{роб}}{4}$, решта – $\frac{\lambda_{роб}}{4}$)

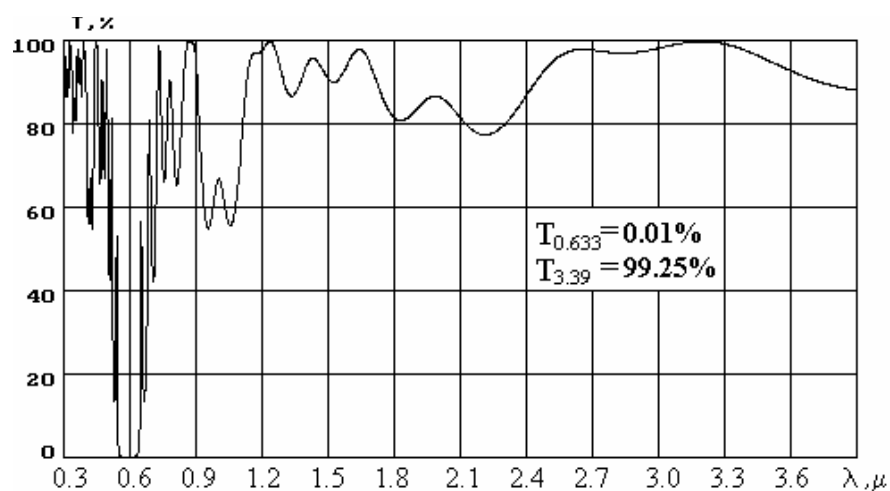


Рис.4. Спектральна характеристика "глухого" дзеркала з просвітленням на 3.39мкм з урахуванням можливого технологічного розкиду по товщинах шарів в межах 10%

Отже, створена програма синтезу інтерференційних покриттів дозволяє розраховувати оптимальні для конкретних типів лазерів конструкції дзеркал. Розраховані для He-Ne лазера структури на основі тонкоплівкових матеріалів $ZrO_2 - SiO_2$ завдяки своїй простоті і технологічності забезпечують необхідну селекцію робочої довжини хвилі $\lambda_{роб.} = 0.63 \mu m$ без використання додаткових селектувальних елементів.

1. А.Мэйтленд, М.Данн. Введение в физику лазеров. М. 1978, С.341-350.

2. J.A.Dobrowolsky, F.C. Ho, A.Waldorf. Determination of optical constants of thin film coating materials based on inverse synthesis. Appl. Opt., vol.22, No 20, 15 October 1983. Pp.3191-3200.

УДК 621.315.592

І.П.Островський, Р.І.Байцар, Т.Я.Троць

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра напівпровідникової електроніки

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації і сертифікації

ВПЛИВ ДОМІШКИ ІНІЦІАТОРА РОСТУ НА ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ В НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛАХ КРЕМНІЮ

© І.П.Островський, Р.І.Байцар, Т.Я.Троць, 2000

Показано, що домішка золота, яка відіграє роль ініціатора росту ниткоподібних кристалів Si у закритій галоїдній системі, приводить до зменшення концентрації власних дефектів, входячи у кристал у незначній кількості.

It has been shown that gold impurity serving as initiator of Si whisker growth in closed halogen system results in a decrease of self defect concentration, being slowly introduced into the crystal.

Потреби мікроелектроніки висувають перед технологами завдання створення бездефектних кристалів з наперед заданими властивостями. Проблема керування дефектоутворенням є особливо гострою в матеріалах $A^{IV}B^{VI}$, де власні дефекти часто визначають основні електрофізичні властивості одержаних кристалів. Автори [1] висловили та підтвердили припущення, що певні домішки (наприклад, Cd при вирощуванні PbTe) можуть заліковувати дефекти кристалічної ґратки, входячи у кристал у незначній кількості. Подібним чином веде себе домішка Gd в ниткоподібних кристалах (НК) GaAs [2].

НК Si вирощують, використовуючи домішки металів, які служать ініціаторами росту за так званім механізмом пара-рідина-кристал (ПРК) [3]. Однією з умов використання домішки як ініціатора росту є порівняно низька (до 10^{17} см^{-3}) її рівноважна розчинність у кремнії. Таку умову задовольняють домішки Au, Pt, Ni. Низька розчинність домішки золота у кремнії вказує на те, що домішка, забезпечуючи ріст кристала з краплі розплаву Si-Au, повинна входити у кристал у незначній кількості. Цікаво перевірити, чи це дійсно так, а також простежити, як легування золотом впливає на концентрацію дефектів в ниткоподібних кристалах.

У роботі з'ясовано вплив домішки Au на характер дефектоутворення при вирощуванні ниткоподібних кристалів Si у закритій галоїдній системі.