

ФІЗИКА, ТЕХНОЛОГІЯ ТА ВИРОБНИЦТВО ЕЛЕМЕНТІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

УДК 621.372

Бобицький Я.В., Лаба Г.П.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра ЛТОС

ПОЛІМЕРНІ ПЛОСКО-ОПУКЛІ МІКРОЛІНЗИ

© Бобицький Я.В., Лаба Г.П., 2000

Розглянуто чинники, які впливають на форму полімерних плоско-опуклих мікролінз, виготовлених за допомогою полімеризації краплини рідкої фоточутливої композиції, яка лежить на твердій горизонтальній підкладці. Встановлено відхилення від сферичності кривизни контуру двовимірних проекцій мікролінз. Представлено схему обробки растрових файлів із зображеннями мікролінз в пакеті Mathcad.

Factors having influence on shape of polymer plane-convex microlenses created by polymerization of drops of liquid photosensitive composition, laying on solid horizontal substrate are considered. Deviations from spherical curvature of profile of two-dimensional of projection microlenses are stipulated. Scheme of raster files proceeding with microlenses image using Mathcad is shown.

Вступ

Останнім часом зростає зацікавленість у створенні короткофокусуєчих мікролінз для потреб волоконної оптики. Окремий інтерес становлять полімерні мікролінзи, оскільки вони дешевші від скляних, простіші у виготовленні та експлуатації і, незважаючи на дещо гіршу оптичну якість порівняно з аналогічними виробами з неорганічного скла і кристалів, їх застосування може бути дуже ефективним [1, 2].

Об'єкт наших досліджень – мікролінзи, виготовлені за допомогою полімеризації краплі, яка лежить на твердій поверхні (метод лежачої краплі) фоточутливої композиції епоксид-акрилату. Оскільки такі лінзи працюють як фокусуєчий елемент за рахунок опуклої поверхні, то до її кривизни висуваються дуже високі вимоги, через те що будь-які відхилення від правильної поверхні призводять до фазових спотворень ходу променів, що відповідно впливає на якість створюваного мікролінзою зображення. З огляду на це в статті зосереджено увагу на опуклій стороні таких мікролінз.

Умови утворення сферичної кривизни плоско-опуклої мікролінзи

Для придатності в опто-волоконних системах мікролінзи мають відрізнятися короткою фокусною відстанню, тобто малим радіусом кривизни. Це слідує із формули тонкої лінзи, для якої радіус кривизни однієї з поверхонь дорівнює ∞

$$f = \frac{1}{n-1} R, \quad (1)$$

де n – показник заломлення матеріалу; R – радіус кривизни.

Метод лежачої краплі якраз дозволяє формувати мікролінзи з такими властивостями. Їх форма цілком залежить від форми рідкої краплі, тому потрібно визначити умови, за яких вона набирає того чи іншого вигляду [3]. Очевидно, що форма краплі формується залежно від низки чинників: сили земного тяжіння, власного поверхневого натягу, поверхневого натягу на границі крапля – тверда поверхня. Значення дії сил земного тяжіння і поверхневого натягу на лежачу на горизонтальній підкладці краплю, залежить від її розміру. Річ у тім, що лапласівський тиск, за допомогою якого сила поверхневого натягу утворює мінімальну поверхню при заданому об'ємі (як відомо такою поверхнею є сфера), прямо пропорційний поверхневому натягу і обернено пропорційний радіусові кривизни, то при дуже малих розмірах краплі такий тиск буде дуже великим, тобто

$$P_{\text{л}} = \frac{2\alpha}{R}, \quad (2)$$

де α – поверхневий натяг рідини.

Значення гравітаційного тиску дорівнює відношенню сили тяжіння краплі масою m до площі контакту між краплею і твердою поверхнею. Цей тиск пропорційно залежний від радіуса і дія відповідної сили тим більша, чим більша крапля, як видно з формули

$$P_{\text{г}} = \frac{4}{3}\pi R g \rho, \quad (3)$$

де g – прискорення вільного падіння; ρ – густина рідини.

Отже, із зменшенням краплі $P_{\text{л}}$ росте, а $P_{\text{г}}$ зменшується, і як наслідок має бути такий розмір краплі, нище від якого $P_{\text{л}}$ буде перевищувати $P_{\text{г}}$. І якщо $P_{\text{л}} \gg P_{\text{г}}$, форма краплі повинна підпорядковуватися дії $P_{\text{л}}$, тобто стати майже сферичною. Інакше гравітаційний тиск, зумовлений умовами “вагомості” настільки малий порівняно з лапласівським, що крапля поводить ся так, ніби знаходиться в невагомості. З огляду на це крапля повинна бути настільки маленькою, щоб її вага не могла помітно спотворити сферичну форму, яку їй прагне надати поверхневий натяг, що відповідає умові

$$R \ll \sqrt{\frac{3\alpha}{2\pi g \rho}}. \quad (4)$$

Для того, щоб форма мікролінзи мала вигляд зрізаної сфери, крайовий кут θ_0 , який утворюється при рівновазі краплі рідини на поверхні твердої підкладки має підкорятися умові $0 < \theta < \pi/2$, що відповідає випадку обмеженого змочування рідиною поверхні твердого тіла.

Треба зауважити, що під час моделювання форми краплі важливо враховувати в'язкість рідини, яка своєю чергою залежить, в основному, від температури. Окрім того, має місце явище хімічної осадки матеріалу полімеру після його опромінення, однак, цей факт потребує додаткового дослідження.

Розрахунок і оцінка контуру кривизни проекції мікролінзи

За певних умов вже сформовані плоско-опуклі мікролінзи. З метою дослідження форми останні фотографуємо в профіль за допомогою ПЗЗ-камери (пристрій з зарядовим зв'язком). Для повнішої оцінки всієї поверхні знімки робимо в декількох площинах. Оскільки графічні файли можуть зберігатися в стандартних растрових форматах, то допускається їх перетворення в числові дані, кожен елемент яких означає той чи інший колір малюнку і відповідає одному пікселю. Отже, чорно-білі зображення мікролінз

конвертуються у прямокутні матриці з двотипними елементами 0 і 255, які визначають відповідно чорний і білий кольори. Привівши числові масиви до вигляду, де елементи, які дорівнюють 1, будуть відповідати кожному пікселу проєкцій досліджуваних об'єктів, а компоненти, що дорівнюють 0, будуть визначати простір навколо проєкцій, отримаємо лінійні розміри досліджуваних об'єктів у пікселях. При цьому легко визначити контур, який описує кривизну проєкції мікролінзи.

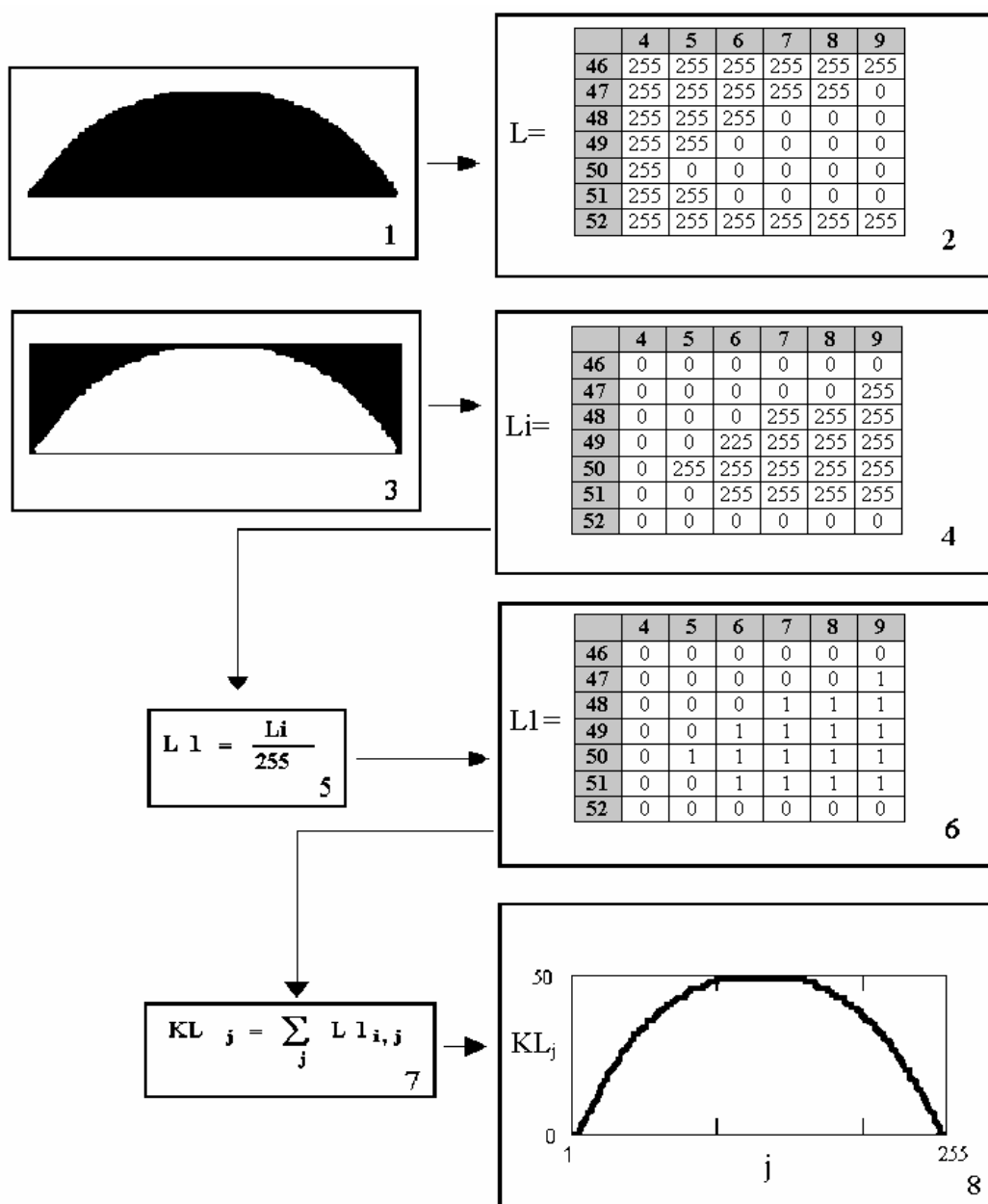


Рис.1. Схема обробки цифрових даних проєкції мікролінзи в пакеті Mathcad.

На рис.1 показана схема обробки зображень мікролінз в пакеті Mathcad: 1 – графічне зображення мікролінзи; 2 – цифрова матриця L розміром $m \times n$ з двотипними елементами 0 і 255, яка описує зображення 1; 3 – інвертоване зображення 1 і 4 – відповідна цифрова матриця Li ; 5 – операція нормування матриці Li ; 6 – прямокутна матриця $L1$, отримана за допомогою пункту 5; 7 – підсумовування всіх елементів в кожному стовпці матриці $L1$; 8 –

результуюча крива контуру проекції мікролінзи, де по осі абсцис відкладений одновимірний масив чисел від 1 до n (n – кількість колонок матриці $L1$), а по осі ординат значення KL відповідних колонок у пікселях.

На рис.2 показано різницю між отриманою кривою і сферичною з радіусом, який дорівнює середньому радіусові кривизни проекції мікролінзи. По осі ординат відкладені відхилення Δr з врахуванням масштабу, а по осі абсцис – крок розрахунку t .

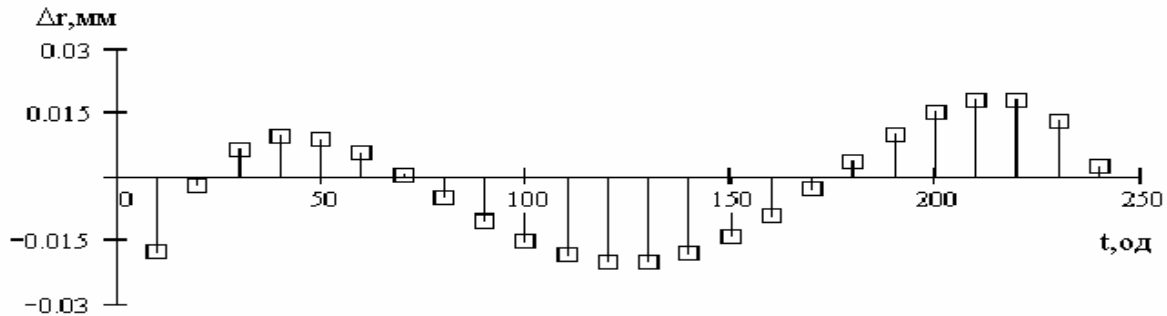


Рис.2. Відхилення від сферичності контуру кривизни двовимірної проекції мікролінзи.

Досліджувана кривизна збігається з сферичною лише в чотирьох точках (перетин з віссю x). Це означає, що контур зображення мікролінзи має швидше еліптичну кривизну, тобто опукла поверхня мікролінзи дещо сплюснута. Такий результат спричинений, окрім впливу гравітації, недостатньою роздільною здатністю цифрової камери. Відхилення від сферичності на початку і в кінці графіка спричинене поверхневим натягом на границі двох фаз. Однак цю область можна виключити за допомогою відомих механічних засобів при використанні мікролінзи в оптичній системі. Крім того, очевидна певна антисиметричність контуру, яка виражається в більшій амплітуді другого додатного максимуму. Такий факт, пов'язаний із стіканням рідини при не абсолютно горизонтальній поверхні, на якій виготовляється мікролінза.

Отримані в такий спосіб контури, сфотографованих мікролінз в декількох площинах, дозволяють оцінити кривизну її поверхні.

Висновки

Дослідження показують, що чим більший радіус кривизни мікролінзи, тим приплюснутіша її поверхня. Очевидно, наведений результат узгоджується з описаною теорією, тому за допомогою розрахунку і експерименту існує можливість формування якісних мікролінз. Причому представлений спосіб обробки растрових файлів в пакеті Mathcad і застосування оптико-цифрової системи для фотографування мікролінз поєднують високу точність вимірювання і розрахунків з швидкодією реєстрації і обробки зображень.

[1] Красюк Б.А., Корнеєв Г.И. Оптические системы связи и световодные датчики. Вопросы технологии. М., 1985.

[2] Hamblen D.P. Miniature aspheric lenses with spherical index gradients. Appl. Opt. 1994. Vol.33. № 4. С.56-60.

[3] Гегузин Я.Е.. Капля. М., 1977.