

2. Alnutt, J. Satellite-to-ground Radiowave Propagation [Текст] / J. Alnutt // IEE Electromagnetic Waves Series – 1989. – Vol. 30, №11, pp 50-54.
3. Aresu, A., Damosso, E., Martellucci, A., Ordano, L., Paraboni A. Depolarisation of electromagnetic waves due to rain and ice: theory and experimental results [Текст] / A. Aresu, E. Damosso, A. Martellucci, L. Ordano, A. Paraboni // Alta Frequenza. – 1994. – Vol. 6, № 6, pp 70-75.
4. Chu, T. S. A semi-empirical formula for microwave depolarisation versus rain attenuation on earth-space paths [Текст] / T. S. Chu // IEEE Trans. Commun. – 1982. – Vol. 30, №12, pp 2550-2554.
5. Dintelmann, F. Reference Book on Depolarisation [Текст] / F. Dintelmann – OPEX- ESA WPP-083, 1994 – pp 74.
6. Dissanayake, A. W., Haworth, D. P., Watson, P. A. Analytical models for cross-polarisation on earth space radio paths for frequency range 9-30 GHz [Текст] / A. W. Dissanayake, D. P. Haworth, P. A. Watson // Ann. Telecommunication. – 1980. – Vol. 35, №11-12, pp 398-404.
7. Hogers, R., Herben, M., Brussaard, G. Depolarisation analysis of the 12.5 and 30 GHz Olympus beacon signals [Текст] / R. Hogers, M. Herben, G. Brussaard // Proc. 1st OPEX Workshop, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands. – 1991. – pp. 2.4.1-2.4.12.
8. Fukuchi, H. Prediction of depolarisation distribution on earth-space paths [Текст] / H. Fukuchi // IEE Proceedings. –1990. – Vol.137, №6.
9. Van de Kamp, M. Depolarisation due to rain: the XPD-CPA relation [Текст] / M. Van de Kamp // Int. J. Sat. Com. – 2001. – Vol. 9, № 3, pp. 285-301.
10. ITU-R. Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems // Propagation in Non-Ionized Media. – 1997. – Rec. 618-5.

В статті проаналізовано проблему підвищення точності вимірювання лінійних параметрів температурних фрагментів зони плавки за допомогою телевізійних засобів вимірювання. Запропоновано формулу для кількісної оцінки порогового контрасту. Проведено дослідження змін порогового контрасту в залежності від просторової частоти.

Ключові слова: зонна плавка, телевізійний засіб вимірювання.

В статье проанализирована проблема повышения точности измерения линейных параметров температурных фрагментов зоны плавки с помощью телевизионных средств измерения. Предложена формула для количественной оценки порогового контраста. Проведены исследования изменений порогового контраста в зависимости от пространственной частоты.

Ключевые слова: зонная плавка, телевизионное средство измерения.

The article analyzes the problem of measurement accuracy of linear parameters of temperature fragments for zone melting by means of television measurement. A formula for the quantitative assessment of contrast threshold was suggested. A study of threshold contrast changes depending on the spatial frequency was held.

Keywords: zone melting, television measuring device.

УДК 621.307.13

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ФРАГМЕНТІВ ЗОНИ ПЛАВКИ

М. О. Маркін

Кандидат технічних наук, асистент*

Контактний тел.: (044) 406-85-03, 097-65-47-88

E-mail: nauka@naeps.kpi.ua

О. М. Маркіна

Асистент*

Контактний тел.: (044) 406-85-03, 096-239-32-33

E-mail: O.N.Markina@gmail.com

А. М. Драган

Аспірант*

Контактний тел.: (044) 406-85-03, 063-260-46-83

E-mail: Ann.Feer@gmail.com

*Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут" вул. Політехнічна, 14, м. Київ, 03056

1. Вступ

Ефективність більшості високотемпературних технологій, які застосовуються для отримання нових матеріалів та матеріалів із заданими властивостями, може

бути забезпечена тільки при дотриманні технологічних вимог, що неможливо без належних технічних засобів вимірювання, які повинні не тільки задовольняти сучасні вимоги щодо точності вимірювання, але й мати значний потенціал вдосконалення своїх характеристик.

Найбільш повно вказаним вимогам відповідають телевізійні засоби вимірювання (ТЗВ) температури шляхом аналізу потоку власного випромінювання в певному спектральному діапазоні (моноспектральні) або шляхом співставлення потоків в кількох спектральних діапазонах (мультиспектральні). Телевізійні засоби є надзвичайно ефективним інструментом теплового неруйнівного контролю, оскільки дозволяють одночасно забезпечити найвищі серед усіх інших інформаційно-вимірювальних засобів показники щодо максимального формату виборки, мінімального часу її формування та просторового розрізнення, що робить їх незамінними в тих випадках, коли саме така сукупність показників є визначальною. Власне, саме моноспектральні телевізійні засоби дозволили вирішити проблему контролю параметрів безтигельної зонної плавки (БЗП) (висота зони плавки та температура поверхні розплаву). Але залишаються невирішеними питання, які важливі з точки підвищення точності вимірювання параметрів БЗП телевізійними засобами.

В роботах [1, 2] обґрунтовано, що телевізійні засоби є найбільш придатним інструментом контролю електронно-променевих технологій, і в першу чергу, електронно-променевої БЗП, яка сьогодні вважається однією із перспективних технологій отримання матеріалів із заданими властивостями, в тому числі надчистих напівпровідників, що є основою сучасної мікроелектроніки.

Все вищенаведене обумовлює актуальність та наукову новизну досліджень, спрямованих на вдосконалення телевізійного засобу вимірювання лінійних параметрів зонної плавки.

2. Аналіз проблеми вимірювання лінійних параметрів зонної плавки

Термін «зонна плавка» [3] означає сукупність методів, які дозволяють перерозподіляти домішки в кристалічних речовинах в рідкій фазі. Для всіх цих методів спільним є переміщення вузької зони розплаву вздовж твердого зразка, в результаті чого досягається перерозподіл домішок.

Зразок, наприклад, кристал кремнію, який виконує функції анода, розташований вертикально у вакуумній камері. В камері підтримується вакуум 10^{-3} - 10^{-5} мм. рт. ст. Геометрія камери та структура магнітного поля забезпечують взаємодію електронного пучка з поверхнею кристала в точці фокуса. При цьому кінетична енергія електронного пучка перетворюється в теплову і виникає зона розплаву (зона плавки), яка утримується силами поверхневого натягу. Зона плавки переміщується вздовж зразка, що досягається переміщенням зразка або джерела електронів разом із системою фокусування. Швидкість переміщення регулюється в залежності від матеріалу, заданої його чистоти та потужності електронного пучка.

Найважливішими параметрами зонної плавки, які визначають якість продукту, є висота зони плавки та розподіл температури по її поверхні [3].

Висота зони обчислюється як різниця між координатами точок, що визначають нижню та верхню межі зони, а випадкові її зміни в процесі плавки також можуть привести до погіршення якості кристалу, що обумовлює необхідність постійного контролю висоти зони плавки шляхом вимірювання її поточних значень.

Вибір і застосування моноспектрального телевізійного засобу в задачі вимірювання параметрів БЗП [4] були обґрунтованими і дозволили зменшити похибку вимірювання температури до 3 К, а похибку вимірювання лінійних розмірів температурних фрагментів на поверхні зони розплаву – до 0,1 мм, що цілком відповідає сучасним вимогам.

Цього не можна сказати про інші матеріали, для очищення яких застосовується технологія зонної плавки.

До матеріалів, що піддаються зонному очищенню, можна віднести органічні матеріали (лауринова кислота, парафін, стеаринова кислота, стирол, фенол, циклогексан, етанол) та деякі метали (алюміній, берилій, бор, ванадій, вискіт, вольфрам, гадоліній, галій, германій, залізо, золото, індій, ітрій, кадмій, кобальт, кремній, літій, магній, мідь, молибден, нікель, ніобій, олово, палладій, платина, плутоній, реній, свинець, срібло, сурма, тантал, телур, титан, уран, цинк, цирконій) [3].

Деякі з цих матеріалів є прозорими в рідкій фазі, в інших – коефіцієнт випромінювальної здатності змінюється в широких межах або взагалі на сьогодні невідомий.

Отже, просте копіювання науково-технічних рішень, які виявилися ефективними в задачі вимірювання параметрів БЗП кремнія [5, 6], може не дати бажаних результатів.

3. Похибки вимірювання лінійних розмірів температурних фрагментів

Класичним підходом до оцінки похибки вимірювання лінійних розмірів в системах формування зображення є геометричний підхід, який і розглядається у більшості літературних джерел [7,8].

В основу геометричного підходу покладено поняття елементу розкладу зображення, як частини світло-електричного перетворювача, в межах якої двовірна (просторова) функція освітленості інтегрується.

При такому підході приймають, що абсолютна похибка вимірювання δ не перевищує значення лінійного розміру елементу розкладу Δ по відповідній координаті. Як правило, приймають, що $\delta = \Delta$. Геометричний підхід є загальноприйнятим і для сучасних ТЗВ дає оцінку похибки вимірювання лінійних розмірів в діапазоні від 7 мкм до 10 мкм.

Але цим підходом доцільно користуватись переважно для отримання оціночних значень похибки вимірювання. Строго кажучи, геометричний підхід годиться для використання в лабораторних умовах, коли об'єктом виступають еталонні атестовані джерела.

Як зазначалося в роботі [7], до оцінки похибки вимірювання, крім геометричного, можуть бути застосовані інші підходи, зокрема, просторово-частотний, який базується на аналітичному або графічному розв'язанні рівняння

$$H(f_x) = \exp(-2\pi^2 f_x^2 r_0^2) \frac{\sin(\pi f_x \Delta x)}{\pi f_x \Delta x}, \quad (1)$$

де $H(f_x)$ - функція передачі модуляції (ФПМ) телевізійного засобу;

f_x - просторова частота по координаті x;

r_0 - радіус плями розсіяння об'єктиву;

Δx - лінійний розмір пікселя ПЗЗ-матриці.

В той же час літературні джерела, де використовується просторово-частотний підхід до визначення роздільної здатності, не враховують особливостей формування порогового контрасту та умов реальної задачі. Ця ж невизначеність у заданні порогового контрасту виникає також при застосуванні просторово-частотного підходу до оцінки похибки вимірювання в задачі контролю зонної плавки [9].

Для кількісних оцінок порогового контрасту на виході можливе використання формули, наведеної в [10]

$$K_{\Pi} = \frac{q_{\Pi}(P)}{K_{BX}\gamma(E)q(E)}, \quad (2)$$

де K_{BX} - вхідний контраст;

$q(E)$, $q_{\Pi}(P)$ - відношення сигнал/шум при освітленості E та порогове, при якому забезпечується задана імовірність реєстрації сигналу P ;

$\gamma(E)$ - показник нелінійності світлосигнальної характеристики.

Об'єднавши формули (1) і (2), отримаємо

$$\exp(-2\pi^2 f_x^2 r_0^2) \frac{\sin(\pi f_x \Delta x)}{\pi f_x \Delta x} = \frac{q_{\Pi}(P)}{K_{BX}\gamma(E)q(E)}. \quad (3)$$

При умові, що світло-електричний перетворювач працює в діапазоні лінійності, тобто $\gamma(E) = 1$, пороговий контраст можна визначити за формулою

$$K_{\Pi} = \frac{q_{\Pi}(P)}{K_{BX}q(E)}.$$

Відповідно, рівняння (3) матиме вигляд

$$\exp(-2\pi^2 f_x^2 r_0^2) \frac{\sin(\pi f_x \Delta x)}{\pi f_x \Delta x} = \frac{q_{\Pi}(P)}{K_{BX}q(E)}. \quad (4)$$

Просторово-частотний підхід при умові використання реальних значень вхідного контрасту та з врахуванням особливостей формування сигналу дозволяє отримати найбільш достовірні оцінки похибки вимірювання.

При цьому реальні ФПМ телевізійних камер можна отримати експериментально чи побудувати за формулою, яка наведена в [11], або за формулою, яка наведена в [7].

Питання щодо K_{Π} дещо складніше. По-перше, на сьогодні відсутні достовірні данні щодо значення K_{Π} для телевізійних камер.

По-друге, треба врахувати, що K_{Π} може бути складною функцією просторової частоти.

З огляду на важливість цього питання нами були проведені відповідні дослідження змін порогового контрасту в залежності від просторової частоти.

Для визначення коефіцієнту передачі $G(f_x)$ на просторовій гармоніці f_x використовували формулу Кольмана, яка має такий вигляд [12]

$$G(f_x) = \frac{\pi}{4} [G_n(f_x) + \frac{1}{3} G_n(3f_x) - \frac{1}{5} G_n(5f_x) + \frac{1}{7} G_n(7f_x) + \dots],$$

де G_n - коефіцієнти передачі, які визначаються з використанням прямокутних штрихових тест-об'єктів відповідної просторової частоти.

Методика отримання кривої порогового контрасту полягає у в отриманні цифрового зображення штрихових мір з подальшою фіксацією номера поля обраної міри, в

якому ще розрізняються чорні та білі штрихи.

Експериментальний графік кривої порогового контрасту для ТЗВ на базі камери NOVUS NVC-530-3 з об'єктивом "Мир-1В" представлений на рис. 1.

Видно, що пороговий контраст у вихідному зображенні є складною функцією просторової частоти, яка за результатами експериментальних досліджень була апроксимована формулою

$$K_{\Pi \text{ апро}}(f_x) = 0,128 + f_x(-3,148 \cdot 10^{-4}) + f_x^2(5,096 \cdot 10^{-5}) + f_x^3(-4,123 \cdot 10^{-7})$$

Графічне розв'язання рівняння (3) за умови, що K_{Π} має вигляд такий, як на рис. 1, показано на рис. 2. Графік функції $H(f_x)$ побудовано за формулою 1 для $r_0 = 0,2$ мкм, $\Delta = 12$ мкм (сучасна камера, наприклад NOVUS NVC-530).

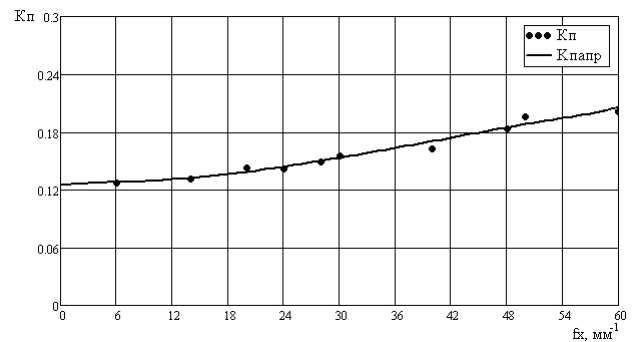


Рис. 1. Крива порогового контрасту

Як видно з рис. 2 у відповідності з традиційною методикою, яка не враховує залежності порогового контрасту від просторової частоти, точка перетину знаходиться на $f_{x1} = 74$ мм⁻¹. За методикою, яка враховує зміну порогового контрасту зі збільшенням просторової частоти, точка перетину знаходиться на $f_{x2} = 67$ мм⁻¹.

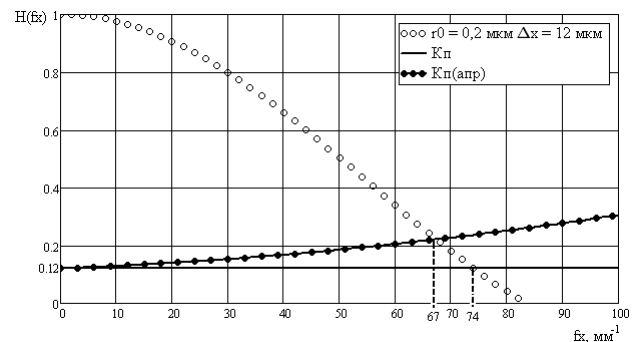


Рис. 2. Розрахункова ФПМ ПЗЗ-матриці та апроксимована крива порогового контрасту

Визначення порогового контрасту з врахуванням отриманих нами результатів дає можливість підвищити точність вимірювання лінійних розмірів температурних фрагментів.

4. Висновки

Застосування нових технічних рішень схем формування вимірювального сигналу дозволяє зменшити по-

хибки вимірювання лінійних розмірів температурних фрагментів, що надзвичайно важливо при вимірюванні параметрів зони розплаву в технології БЗП.

Просторово-частотний підхід при умові використання реальних значень вхідного контрасту та з врахуванням особливостей формування сигналу дозволяє отримати найбільш достовірні оцінки лінійних розмірів.

Підвищення точності вимірювання лінійних розмірів температурних фрагментів дозволить також вирішити задачу контролю розподілу температури в межах ділянки кристалізації, яка відіграє надзвичайно важливу роль в процесі зонної плавки.

Література

1. Порев В.А. Телевізійна пірометрія / В.А.Порев. – К. : АВЕРС, 2002. – 196 с.
2. Маркін М.О. Мультиспектральні телевізійні прилади контролю високотемпературних технологій / М.О.Маркін, Г.М.Згуровський, В.А.Порев, Є.О.Белорусов, І.В.Бойко // Восточно-европейский журн. передовых технологий. – 2006. – №4/2 (22). – С. 24-26.
3. Пфанн В. Зонная плавка [Текст] / В.Пфанн. – М.: Мир, 1970. – 366 с.
4. Порев В.А. Контроль температурного поля зоны плавки [Текст] / В.А.Порев // Дефектоскопия. – 2001. – № 5. – С. 7-11.
5. Порев В.А. Застосування приладів з електронним розгортанням зображення для аналізу параметрів зони плавки [Текст] / В.А.Порев // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – № 3. – С. 25-34.
6. Порев В.А. Телевізійна пірометрія [Текст] / В.А.Порев. – К. : АВЕРС, 2002. – 196 с.
7. Маркін М.О. Оцінка похибки вимірювання геометричних параметрів за допомогою телевізійних інформаційно-вимірювальних систем [Текст] / М.О.Маркін, О.М.Маркіна // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування, – 2009. – Вип. 38. – С. 102-106.
8. Коркунов Ю.Ф., Корнышев Н.П. Измерение геометрических параметров объектов при воздействии шума // Техника средств связи, серия «техника телевидения», – 1990. – Вып. 3. – С.76-80.
9. Рыфтин Я.А. Телевизионная система. Теория [Текст] / Я.А.Рыфтин. – М.: Сов. радио, 1967. – 271 с.
10. Брацлавец П.Ф. Космическое телевидение [Текст] / П.Ф.Брацлавец, И.А.Роселевич, Л.И.Хромов. – М.: Связь, 1973. – 245 с.
11. Шостацкий Н.Н. Применение теории дискретизации для анализа разложения изображений на матрицах ПЗС [Текст] / Н.Н.Шостацкий // Техника средств связи. Сер. «Техника телевидения». – 1982. – Вып.2. – С.3-14.
12. Шульман М.Я. Измерение передаточных функций оптических систем [Текст] / М.Я.Шульман. – Л.: Машиностроение, 1980. – 208 с.

Обґрунтовано структурну схему та проведено аналіз цифрового синтезатора частоти в якості збудника рефлектометра для дистанційного зондування біологічних об'єктів.

Ключові слова: цифровий синтезатор частоти, рефлектометричні системи, дистанційне зондування біологічних об'єктів.

Обоснована структурная схема и проведен анализ цифрового синтезатора частоты в качестве возбудителя рефлектометра для дистанционного зондирования биологических объектов.

Ключевые слова: цифровой синтезатор частоты, рефлектометрические системы, дистанционное зондирование биологических объектов.

Substantiates the structural scheme and made the analysis of digital frequency synthesizer as the causative agent scatterometer for remote sensing of biological objects.

Keywords: digital frequency synthesizer, reflectometric systems, remote sensing of biological objects.

УДК 621.317

ОБОСНОВАНИЕ И АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ В КАЧЕСТВЕ ВОЗБУДИТЕЛЯ РЕФЛЕКТОМЕТРА

И. В. Борохов

Ассистент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности»

Таврический государственный агротехнологический университет
пр. Б.Хмельницького, 18, г. Мелитополь, Запорожская обл.,
Украина, 72316

Контактный тел.: (0619) 42-11-52

E-mail: Bogdan110378@rambler.ru

А. Н. Мороз

Доктор технических наук, доцент

Доцент кафедры автоматизированных электромеханических систем
Харьковский национальный технический университет сельского

хозяйства им. Петра Василенка

ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел.: 096-372-55-59

E-mail: moroz-fekt@inbox.ru