

## ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ НЕКРИСТАЛІЧНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ

У роботі розв'язано важливу науково-практичну проблему, яка полягає в створенні методів і засобів неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників, що дозволяють підвищити вірогідність контролю. Проведено оцінювання вірогідності контролю при реалізації методу неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників на основі диференційно-термічного аналізу.

In this work an important scientific and practical problem has been solved. It is creating methods and facilities of an uncrystalline semiconductors structure transformation non-destroying control, which allows a control reliability increasing. The control reliability has been estimated while realizing the method of the uncrystalline semiconductors structure transformation non-destroying control based on differential-thermal analysis.

Ключові слова: неруйнівний контроль, вірогідність, метрологічні характеристики, автогенераторні засоби, системна похибка.

### Вступ

При дослідженні некристалічних напівпровідників важливу роль отримують методики, в яких значення фізичних властивостей фіксуються у вигляді кривих в процесі зміни стану зразка некристалічного напівпровідника в динамічному термічному режимі при нагріванні (рідше – при охолодженні). При дослідженнях такого роду в некристалічному напівпровіднику виявляються: по-перше, закономірні зміни ряду властивостей; по-друге, агрегатні та фазові перетворення; по-третє, некристалічний напівпровідник проходить послідовно ряд станів, характерних для певного діапазону, або для всієї температурної області його існування. Дані стани, як правило, нерівноважні; ступінь нерівноважності визначається природою, початковим станом і термічною історією зразка некристалічного напівпровідника, значенням температури і швидкістю її зміни.

В термоаналітичних методах дослідження температура виступає не тільки як термодинамічний параметр стану, але і як кінетичний фактор, що впливає на протікання властивим некристалічним структурам релаксаційних процесів, фазових переходів і хімічних перетворень. Вплив кінетичних факторів можна виявити, проводячи досліди з різними швидкостями нагрівання зразка, при цьому одна і та ж температура досягається при різній тривалості процесу. Слід відмітити, що реалізація постійної швидкості нагрівання відіграє суттєву роль при дослідженнях релаксаційних переходів в некристалічних напівпровідниках.

### Постановка завдання

*Метою роботи є підвищення вірогідності неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників на основі безконтактного диференційно-термічного аналізу.*

*Об'єктом дослідження є процес неруйнівного контролю структурно-чутливих параметрів некристалічних напівпровідників.*

*Предметом дослідження є метод та засіб неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників на основі безконтактного диференційно-термічного аналізу.*

### Метод неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників

Метод неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників полягає в контролі незв'язаних компонентів сплавів некристалічних напівпровідників по температурно-часовим характеристикам структурних перетворень в некристалічних напівпровідниках. Після проведення вимірювання, на основі отриманих термограм будується діаграма стану багатокомпонентної системи. Термічний аналіз є зручним способом для побудови діаграми стану. Приклад побудови діаграми стану для сплаву некристалічного напівпровідника методом термічного аналізу представлено на рисунку 1.

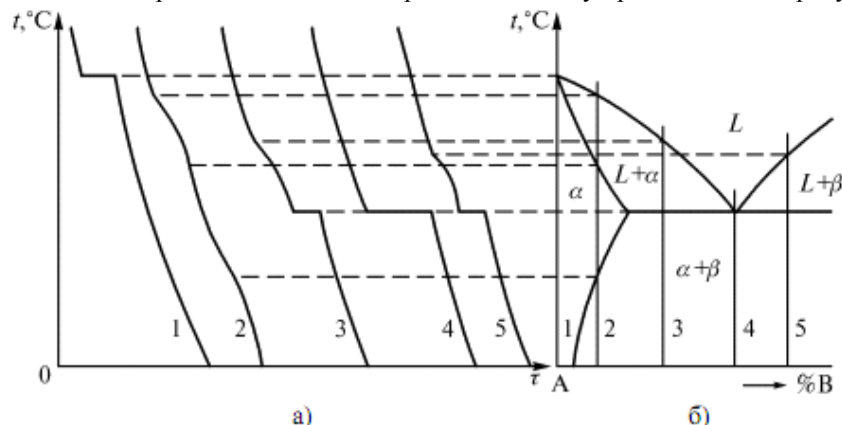


Рис. 1. Сімейство термограм, знятих для сплаву некристалічного напівпровідника (а) і побудована по ним діаграма стану (б)

На рисунку 2 представлено структурну схему для здійснення операції неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників. Вимірювальна система для зняття термограм містить піч 5, в якій розміщуються два тигля з досліджуванним 1 і еталонним 2 зразками, на які наведені частотні вимірювальні перетворювачі 3 і 4.



Рис. 2. Структурна схема методу неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників

#### Оцінювання вірогідності контролю

На основі запропонованої структурної схеми неруйнівного контролю було проведено експериментальні дослідження з плівкою селена. Внаслідок диференційно-термічного аналізу зразка плівки селена отримано термограму. Проведемо оцінювання вірогідності контролю для одного з ДТА-максимумів термограми, що відповідає структурному перетворенню аморфного селена. Вірогідність визначення температури фазового перетворення плівки напівпровідника  $Se$  відображає ступінь об'єктивності одержаних результатів вимірювань в порівнянні з істинним значенням вимірюваної величини. Розглянемо інструментальну вірогідність контролю, яка дорівнює [1]:

$$D_1 = 1 - \alpha - \beta, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – помилка першого роду;  
 $\beta$  – помилка другого роду.

При помилці першого роду фазове перетворення аморфного селена визначається таким, що не відповідає допустимим межам значення термодинамічного процесу, хоча насправді плівка аморфного селена задовольняє вимогам (ризик виробника).

При помилці другого роду фазове перетворення визначається таким, що відповідає допустимим межам значення термодинамічного процесу, хоча насправді плівка аморфного селена є непридатною (ризик замовника).

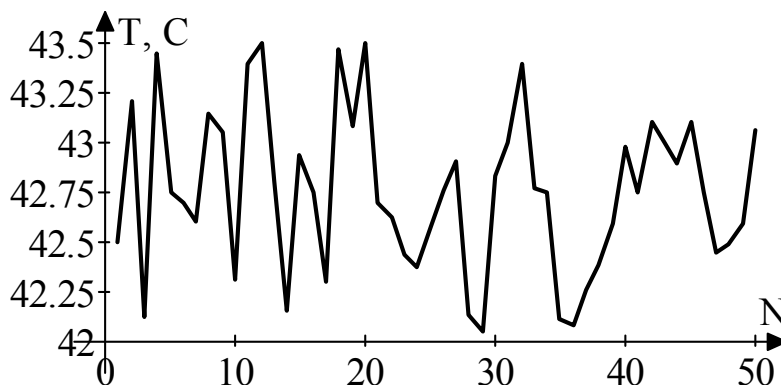


Рис. 3. Графічне представлення вимірених значень температури плавлення  $Se$

Контрольованим параметром у даній роботі є значення температури фазового перетворення. Вимірявши розробленим приладом  $N$  разів температуру плавлення Se із дійсним значенням  $T=42,75$  °C (рисунок 3) побудуємо гістограму частот ймовірностей значень температури плавлення Se та ймовірностей значень похибок (рисунок 4), де  $T$  та  $\Delta T$  – інтервали значень температури плавлення Se та похибки вимірювання,  $P_T$  та  $P_{\Delta T}$  – відносні частоти значень температури плавлення Se та похибки вимірювання, які потрапляють в заданий інтервал.

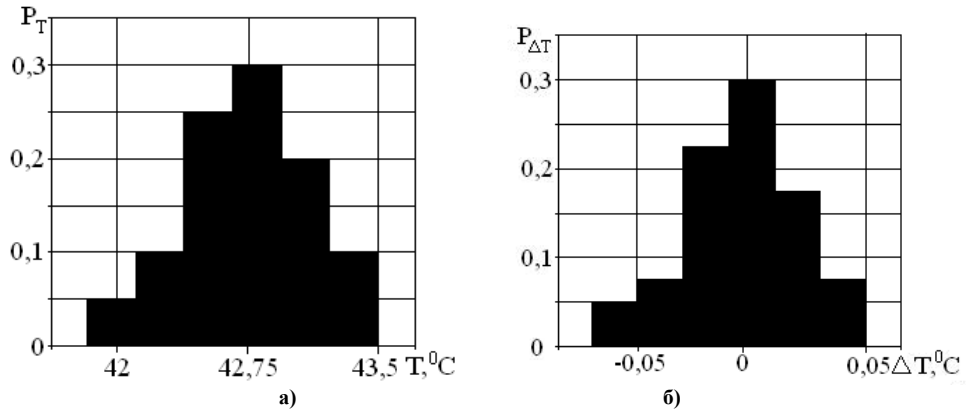


Рис. 4. Гістограми частоти ймовірностей значень температури плавлення Se, частоти ймовірностей значень похибок вимірювання

Значення температури плавлення та похибок вимірювання розподілені за нормальним законом і описуються рівняннями [1]

$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_T} \cdot e^{-\frac{(T-\bar{T})^2}{2\sigma_T^2}}; \quad (2)$$

$$y(\Delta T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\Delta T - \Delta\bar{T})^2}{2\sigma_{\Delta T}^2}} \quad (3)$$

де  $\sigma_T$ ,  $\sigma_{\Delta T}$  – середнє квадратичне відхилення значення температури та похибки вимірювання.

На рисунку 5 наведено графічне представлення функцій  $f(T)$  та  $f(\Delta T)$ .

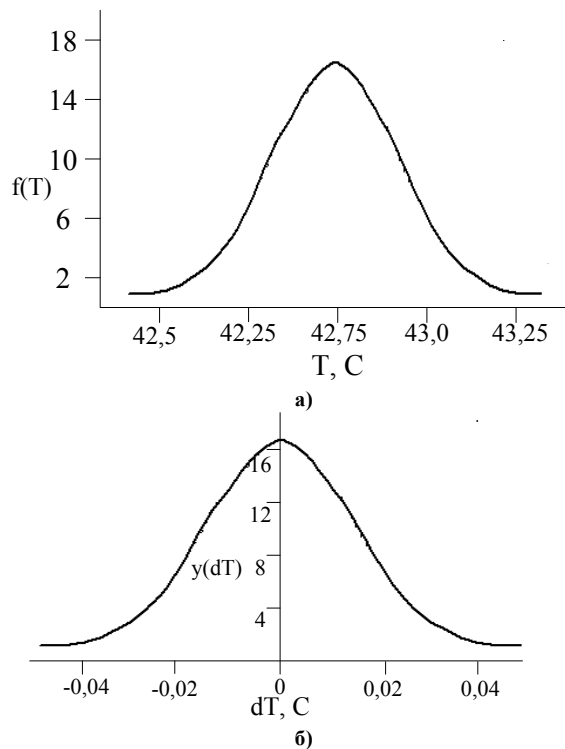


Рис. 5. Функції щільності розподілу ймовірностей: а) температури кристалізації плівки аморфного селена; б) похибок вимірювання

Перевірка того, що значення температури плавлення Se і похибки вимірювання дійсно розподілені за нормальним законом, було здійснено за допомогою критерію  $\chi^2$  Пірсона [2].

Відповідно помилки першого та другого роду визначаються з рівнянь [1]:

$$\alpha = \int_{T_A}^{T_B} f(T) \left[ \int_{T_A-\Delta T}^{T_A} y(\Delta T) d\Delta T + \int_{T_B}^{T_B+\Delta T} y(\Delta T) d\Delta T \right] dT; \quad (4)$$

$$\beta = \int_{T_B}^{T_B+\Delta T} f(T) \left[ \int_{T_B-\Delta T}^{T_B} y(\Delta T) d\Delta T \right] dT + \int_{T_A-\Delta T}^{T_A} f(T) \left[ \int_{T_B-\Delta T}^{T_B} y(\Delta T) d\Delta T \right] dT, \quad (5)$$

де  $T_A, T_B$  – границі допуску температури плавлення Se.

Границі допуску температури плавлення Se задамо у межах  $1^\circ\text{C}$  відхилення від дійсного значення температури ( $T=42,75^\circ\text{C}$ ):  $T_A=41,75^\circ\text{C}$ ,  $T_B=43,75^\circ\text{C}$ . Підставляючи задані значення у рівняння (4) та (5) отримаємо значення  $\alpha=0,023$  та  $\beta=0,007$ . Згідно з виразом (1) інструментальна вірогідність контролю  $D_1=0,97$ .

### Висновки

В даній статті було розв'язано важливу науково-практичну проблему, яка полягає в створенні методів і засобів неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників, що дозволяють підвищити вірогідність контролю, проведено оцінювання вірогідності контролю при реалізації методу неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників на основі диференційно-термічного аналізу.

Науковою новизною роботи є підвищення вірогідності неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників на основі диференційно-термічного аналізу.

Практичною цінністю роботи є розроблений алгоритм неруйнівного контролю структурних перетворень некристалічних напівпровідників.

### Література

1. Володарський С.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: Велес, 2001. – 219с.
2. Дорожовець М. М. Опрацювання результатів вимірювання: навч. посіб. / М. М. Дорожовець. – Львів: Вид-во нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2007. – 624 с. – ISBN 978-966-553-640-6.

Надійшла до редакції  
7.5.2012 р.

УДК 621.01

**В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ**

Хмельницький національний університет

## ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ КРЕПЛЕНИЯ БЛОКА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ВИБРОНАПРЯЖЕННОСТЬ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В статье исследовано влияние затяжки крепежных болтов блока электронной аппаратуры на уровень колебаний печатных плат.

In the article influence of inhaling of timber screw-bolts of block of electronic apparatus is investigational on the level of vibrations of PCBs.

Ключевые слова: виброускорение, печатная плата, вибродатчик.

### Постановка проблемы

К объединительным платам радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) в соответствии с её назначением крепится большое количество электронных элементов (микросхем, резисторов, конденсаторов) и других составляющих, которые интегрально образуют навесной монтаж.

В процессе эксплуатации изделий в результате влияния особенностей производства и условий монтажа, из-за действия динамических нагрузок объединительные платы деформируются. Их деформации могут передаваться на элементы навесного монтажа и в сочетании с другими факторами могут вызывать в последних нарушения функциональной работоспособности с последующим их отказом [1].

В конструкциях РЭА различают две группы отказов [1].

К первой группе можно отнести отказы, связанные со статическими деформациями объединительных плат. Они приводят к разрушению элементов конструкции вследствие превышения