

PACS numbers: 68.60.Dv, 73.61. – r, 07.05.Vx, 07.05.Dz

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМ

В.О. Зленко¹, С.І. Проценко¹, Р. Сафаріч²

¹ Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна
E-mail: serhiy.protsenko@elit.sumdu.edu.ua

² Університет Марібору,
вул. Сметанова, 17, Si-2000, Марібор, Словенія
E-mail: riko.safaric@uni-mb.si

Використовуючи промислові контролери компанії Advantech ADAM-4000 та систему графічного програмування LabVIEW 8.6, розроблено автоматизований комплекс для дослідження терморезистивних властивостей плівкових систем. Проведено апробацію комплексу на прикладі плівкової системи Ni/Fe, отриманої пошаровою конденсацією.

Ключові слова: ТОНКА ПЛІВКА, LABVIEW 8.6, ТЕРМІЧНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ОПОРУ.

(Одержано 22.09.2009, у відредагованій формі – 30.09.2009)

1. ВСТУП

Сучасні дослідження потребують великої точності проведення експериментів і відтворюваності отриманих даних. У зв'язку з цим останнім часом набули широкого поширення автоматизовані системи наукового експерименту, постійно здійснюються спроби створення нових автоматизованих комплексів. Подібні системи дозволяють підвищувати точність отримуваних результатів і «розподільну здатність» експериментів (див., наприклад, [1, 2]). Це, у свою чергу, дозволяє відкрити нові явища, які раніше могли залишитися не поміченими дослідниками. Основні принципи створення подібних систем можна знайти, наприклад, у роботах [3, 4].

Велику увагу сучасні дослідники приділяють дослідженням плівкових матеріалів. Це, перш за все, обумовлено великою перспективністю використання цих матеріалів. Плівкові системи вже отримали поширення в такій сфері, як виробництво чутливих елементів та сенсорів. У роботі [5], наприклад, описані дослідження тонкої плівки нанокристалічного $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Виявлено, що їх електричний опір змінюється при зміні відносної вологості навколишнього повітря та зміні температури. На основі проведених досліджень зроблені висновки про можливість застосування такої плівкової системи для створення сенсорів вологості в робочому температурному діапазоні до 373 К. У роботі [6] запропоновано використовувати як чутливий елемент сенсорів вологості плівкову систему на основі кремнезему. Концепція для створення плівкових сенсорів на прикладі термо- і тензорезисторів на основі $\text{Pd}_{0,87}\text{Cr}_{0,13}$ викладена у [7]. У роботі [8] описана методика створення сенсорних масивів на базі плівкових систем Pt/поліімід та NiCr/поліімід

для вимірювання температури та деформації; наведені дані вимірювань розробленими експериментальними сенсорними парами температури в діапазоні до 500 К та відносної деформації до 2 %. У роботі [9] викладені дослідження терморезистивних властивостей тонких плівок Pt на підкладках $MgO/SiO_2/Si$ та Al_2O_3 , на основі яких зроблено висновки про перспективність використання таких систем для створення датчиків високої температури.

Проведений аналіз літературних даних підтверджує актуальність, перспективність та незакінчений характер досліджень тензо- та терморезистивних властивостей плівкових систем. Тому для подальшого проведення таких досліджень нами був створений та апробований автоматизований комплекс дослідження терморезистивних властивостей плівкових систем.

Інструментом розроблення необхідного програмного забезпечення стала мова програмування LabVIEW 8.6 компанії National Instruments. Вона вже запропонувала себе як зручний та гнучкий інструмент для створення автоматизованих систем наукового експерименту (див., наприклад, [3, 10, 11, 12]). Мова LabVIEW є графічною, тому інтуїтивно зрозуміла людині. Функції, а саме масиви, кластери даних, цикли, черги, структури відображаються на блок-діаграмі у вигляді піктограм. Взаємодія між ними організується за допомогою провідників даних.

2. АПАРАТНА ЧАСТИНА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

Розроблений автоматизований комплекс складається з 8-канального, 16-бітного сигма-дельта АЦП ADAM-4118, перетворювача інтерфейсів ADAM-4520, схеми керування розжарюванням пічки із кроковим двигуном, персонального комп'ютера. Загальна схема комплексу зображена на рис. 1.

Усі вимірювання проводяться у вакуумному середовищі, яке створюється установкою ВУП-5М. Через зразок пропускається постійний електричний струм, який попередньо вирівнюється схемою стабілізації. З робочого об'єму у вигляді аналогових сигналів до АЦП перетворювача надходять дані про спад напруги на зразку, температуру та спад напруги на еталонному опорі. АЦП ADAM-4118 перетворює аналогову інформацію на цифрову і передає її за допомогою інтерфейсу RS-485 до перетворювача інтерфейсів ADAM-4520. Перетворювач пересилає за допомогою інтерфейсу RS-232 дані до послідовного COM-порту персонального комп'ютера. У контролері ADAM-4118 поєднані висока надійність, точність, можливість програмної зміни меж вимірювання та відносна легкість його інтеграції в системи збору та обробки інформації.

У розробленому комплексі задіяні три вхідних канали АЦП: до одного приєднана термопара типу К (хромель-алюмель) для вимірювання температури зразка, а два інших вимірюють напругу на зразку безпосередньо у вакуумній камері та еталонному опорі, розміщеному на вході АЦП.

Вимірювання проводяться по чотириточковій схемі. За допомогою двох контактів до зразка підводиться електричний струм, а за допомогою двох інших вимірюється спад напруги на ньому. Це дозволяє вимірювати спад напруги лише на зразку, тому довжина провідників (тобто їх опір) не впливає на розрахований опір зразка.

Використання, крім схеми стабілізації струму, додатково еталону дозволяє збільшити точність вимірювання опорів. Будь-які випадкові, навіть незначні зміни сили струму не впливають на розрахунок опорів зразка, оскільки він розраховується згідно із законом Ома.

Дані від контролера надходять до програми керування, де обробляються та зберігаються. Контроль за розжарюванням пічки відбувається за допомогою керувальних сигналів, які надсилаються програмою керування у вигляді двійкового коду до LPT-порту комп'ютера. Сигнали надходять до схеми керування кроковим двигуном, який, у свою чергу, з'єднаний з регулятором струму у схемі керування розжарюванням пічки. Це призводить до зменшення або збільшення розжарювання пічки.

Оскільки для отримання достовірних результатів необхідна поступова, рівномірна заміна температури, для корегування та підтримання сталої швидкості нагрівання пічки був застосований ПІД (пропорційно інтегрально диференційний) алгоритм регулювання. Параметр, що регулюється, розглядається як змінна процесу (в даному випадку – швидкість зміни температури). Користувач вводить завдання, тобто необхідну величину змінної процесу. ПІД-регулятор визначає величину керувальної дії (в нашій системі – швидкість обертання крокового двигуна). Ця величина впливає на змінну процесу і приводить її до заданого значення [13].

3. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

Програма керування розробленої системи повинна одночасно виконувати декілька задач, а саме: проводити збір та обробку вимірюваних даних експерименту, виводити дані у графічній та символній формах на лицьову панель для їх оцінки дослідником, керувати розжарюванням пічки.

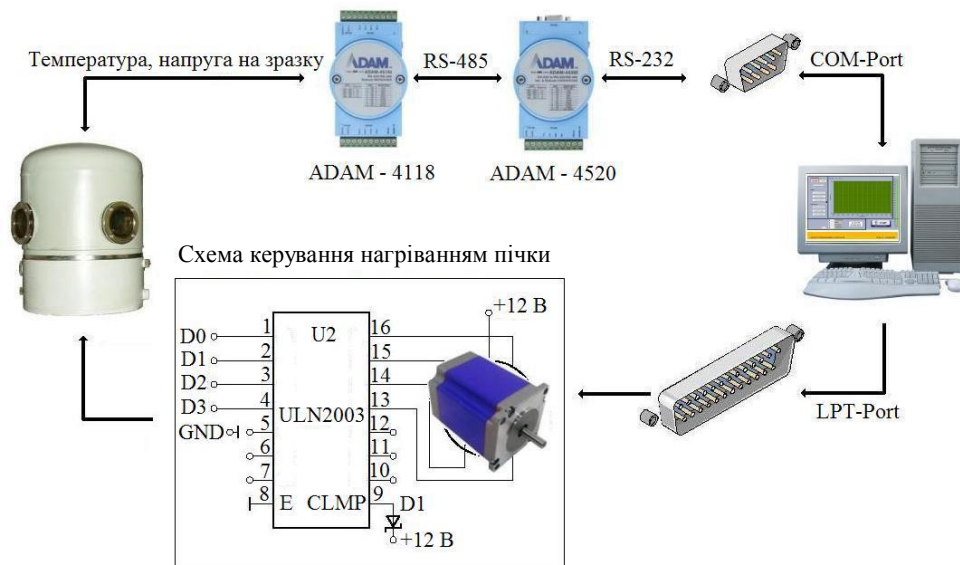


Рис. 1 - Схема апаратної частини автоматизованого комплексу

Лицьова панель розробленої програми подана на рис. 2. Група кнопок «ПОЧАТОК РОБОТИ» відповідає за початок або припинення експерименту. За допомогою групи клавіш «ОПЦІЇ» здійснюється введення опцій контролера, режиму проведення експерименту та ін. Кнопки групи «РЕЗУЛЬТАТИ» відповідають за запис отриманих у ході експерименту даних до файлу.

Індикатори поточних значень 2 відображають останні дані про спад напруги на зразку та еталоні і температуру, зафіксовану контролером.

Графічні індикатори 3 відображають залежності вимірюваних та розрахованих величин у ході проведення експерименту.

Основою архітектури розробленого програмного забезпечення є State Machine на базі черги (див. детально [14]). Програма працює з чотирма паралельними потоками даних: інтерфейсний потік, що відповідає за події користувача, потік збору даних з контролера, потік обробки та відображення отриманих даних, потік, що відповідає за контроль над роботою пічки.

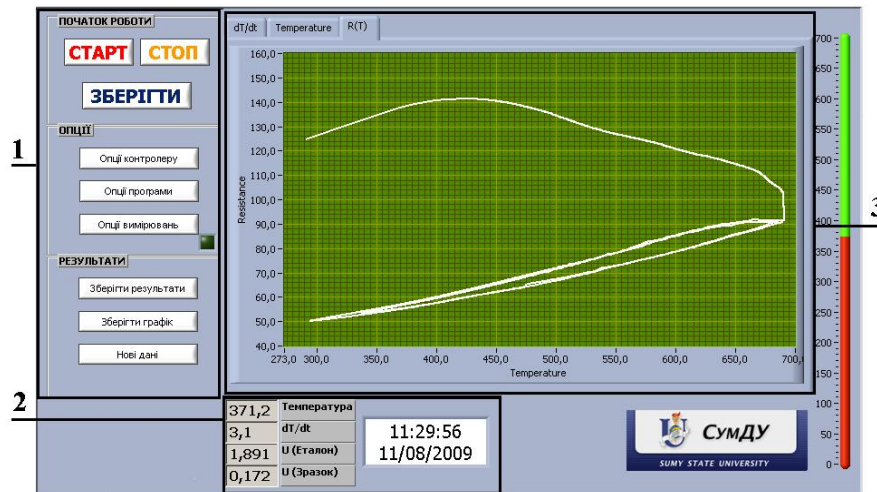


Рис. 2 – Лицьова панель програми керування: 1 – кнопки управління програмою; 2 – індикатори поточних значень вимірюваних параметрів; 3 – графічні індикатори залежностей $dT/dt(t)$, $T(t)$ та $R(T)$

Послідовне виконання команд та дій організується використанням функції черги (Queue). Елементами черги є кластери, що складаються з Enum Type Definition та типу даних Variant (4, рис. 3). Перший елемент відповідає за селекцію необхідної для виконання дії (2, рис. 3), а другий – за необхідності здійснює обмін даними між паралельно працюючими структурами (3, рис. 3). При кожній ітерації виконання коду програми кластерні елементи послідовно видаляються з черги подій функцією “Dequeue element” (1, рис. 3) та розділяються. Після цього обирається та виконується необхідна сторінка коду структури Case. Елементи до черги додаються за допомогою функції “Queue element” (5, рис. 3).

Усі зібрані дані та введені настройки записуються та зберігаються у головному кластері. Результати проведення експерименту та графік залежності $R(T)$ зберігаються у файлах формату .xls та .lvm, що дозволяє проводити їх подальшу обробку та аналіз.

Обмін даними між комп’ютером та контролером ADAM можна організувати, використовуючи як звичайний текстовий формат передачі команд “string”, так і протокол Modbus RTU.

Протокол Modbus належить до протоколів прикладного рівня. Контролери при взаємодії використовують клієнт-серверну модель, яка базується на транзакціях, що складаються із запитів та відповідей. В автоматизованому комплексі головним пристроєм (клієнтом) може бути персональний комп’ютер, а підпорядкованим пристроєм (сервером) – АЦП. Сервер у відповідь на команди клієнта виконує відповідні дії або передає

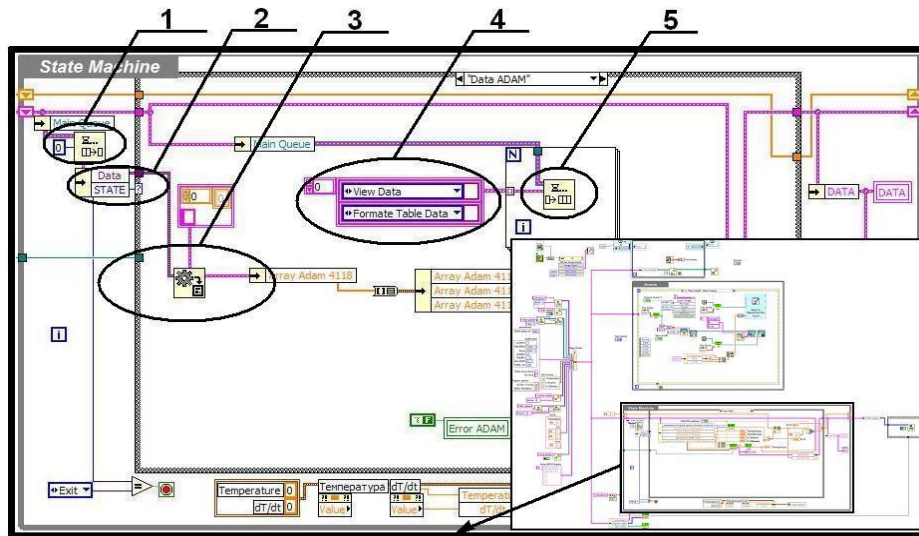


Рис. 3 - Блок-діаграма State Machine на базі черги: 1 - функція "Dequeue element"; 2 - селектор структури Case; 3 - дані типу variant; 4 - масив кластерних елементів черги; 5 - функція "Queue element"

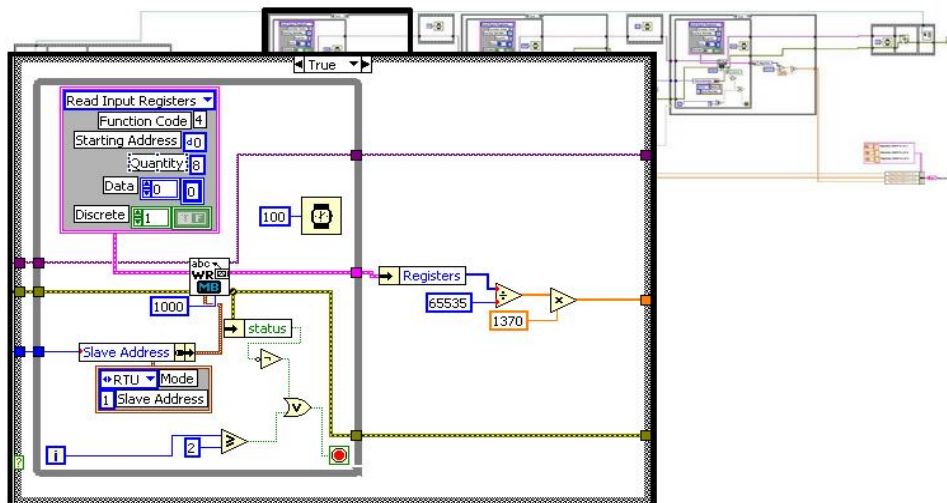


Рис. 4 - Блок-діаграма віртуального приладу на базі протоколу Modbus

запитувані дані. Блок-діаграма віртуального пристрою, що відповідає за взаємодію з контролером, використовуючи протокол Modbus, зображена на рис. 4.

На рис. 5 зображена блок-діаграма віртуального приладу, який використовується у розробленому програмному комплексі для взаємодії з контролером. У ньому використовується текстовий формат передачі команд ASCII. Команда складається з ідентифікатора команди, віртуальної адреси контролера у мережі, символу повернення каретки. Останній символ програмно еквівалентний натисненню кнопки «Enter» на клавіатурі комп'ютера. Також у командах можуть вказуватися нові настройки контролера, номери необхідних каналів, діапазони та тип вимірюваних різними каналами контролера даних тощо.

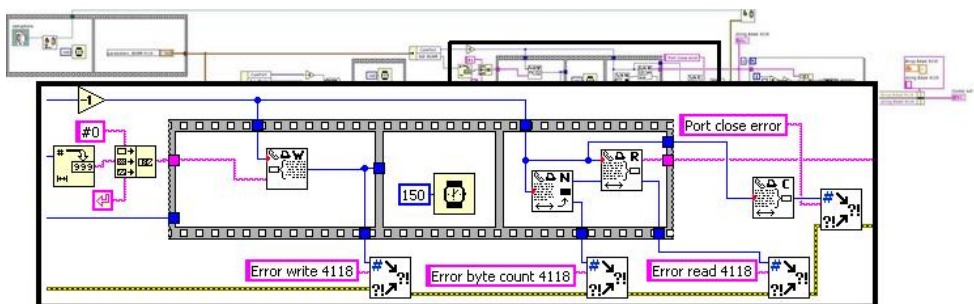


Рис. 5 - Блок-діаграма віртуального приладу з використанням текстових команд

4. АПРОБАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

За допомогою розробленого автоматизованого комплексу було проведено дослідження терморезистивних властивостей плівки Ni(15)/Fe(35)/П (П-підкладка), отриманої пошаровою конденсацією. За даними отриманої залежності опору від температури $R(T)$ (рис. 6а) була розрахована температурна залежність термічного коефіцієнта опору (ТКО) (рис. 6б). У процесі експерименту було проведено 3 цикли відпалювання та охолодження. Зменшення ТКО із кожним циклом можна пояснити зменшенням кількості дефектів та рекристалізаційними процесами.

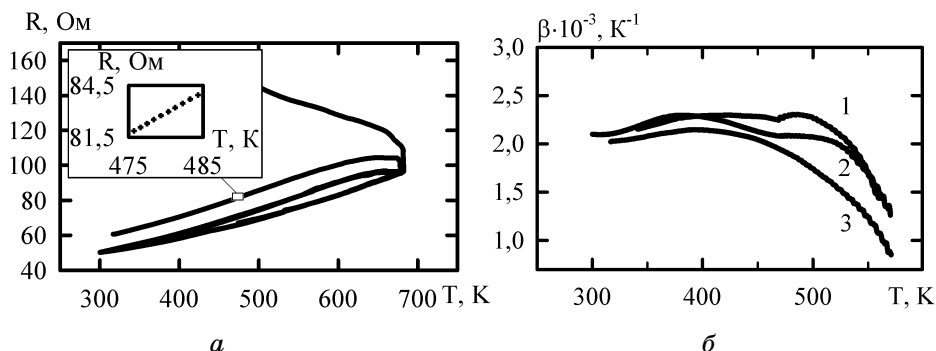


Рис. 6 - Отримані експериментально залежності: $R(T)$ (а); $\beta(T)$ (б). 1-3 – номери циклів охолодження. На вставці – залежність $R(T)$ в інтервалі температур 495-535 K

Вставка на рис. 6а демонструє велику кількість отриманих протягом усього експерименту точок (близько 5500), що є непосильним завданням при проведенні подібних вимірювань у ручному режимі. Застосування ПІД-регулювання для організації зворотного зв'язку в процесі контролю над роботою пічки дозволило підвищити якість та однорідність перебігу процесу експерименту.

Враховуючи отримані в ході роботи результати, можна зробити висновок, що використання мови LabVIEW дозволяє швидко та ефективно створювати програмне забезпечення для автоматизованих комплексів наукового експерименту. Використання промислових контролерів серії ADAM-4000 компанії Advantech, які поєднують у собі велику точність,

надійність та відносно невелику ціну, приводить до більш ефективного підходу в побудуванні систем автоматизації наукового експерименту. Робота виконана в рамках договору М/54-2009 про науково технічне співробітництво між Сумським державним університетом і Університетом у м. Марібор (Словенія).

AUTOMATED COMPLEX FOR THERMORESISTIVE PROPERTIES INVESTIGATION OF NANOSTRUCTURED FILM SYSTEMS

V.A. Zlenko¹, S.I. Protsenko¹, R. Safaric²

¹ Sumy State University,
2, Rymsky-Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine
E-mail: serhiy.protsenko@elit.sumdu.edu.ua

² University of Maribor,
17, Smetanova Str., Si-2000, Maribor, Slovenia
E-mail: riko.safaric@uni-mb.si

Using industrial controllers of Advantech ADAM-4000 Company and system of graphic programming LabVIEW 8.6 the automated complex for thermoresistive properties investigation of film systems is developed. Approbation of the complex on example of Ni/Fe film system obtained by layered condensation is carried out.

Keywords: THIN FILM, LabVIEW 8.6, THERMAL COEFFICIENT OF RESISTANCE.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ

В.А. Зленко¹, С.И. Проценко¹, Р. Сафарич²

¹ Сумский государственный университет,
ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, Сумы, Украина
E-mail: serhiy.protsenko@elit.sumdu.edu.ua

² Университет Марибора,
ул. Сметанова, 17, Si-2000, Марибор, Словения
E-mail: riko.safaric@uni-mb.si

Используя промышленные контроллеры компании Advantech ADAM-4000 и систему графического программирования LabVIEW 8.6, разработан автоматизированный комплекс для исследования терморезистивных свойств пленочных систем. Проведена апробация комплекса на примере пленочной системы Ni/Fe, полученной послойной конденсацией.

Ключевые слова: ТОНКАЯ ПЛЕНКА, LABVIEW 8.6, ТЕРМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. G.S. Katranas, T. Meydan, A. Ovaria, F. Borza, M. Yasin, C. Malvicino, H. Pftzner, M. Vazquez, M. Rohne, B. Marquardt, *Sensor Actuat. A-Phys.* **129**, 243 (2006).
2. D. Shi, N.N. Gindy, *Sensor Actuat. A-Phys.* **135**, 405 (2007).
3. Д.В. Великодний, С.И. Проценко, И.Е. Проценко, *ФИП* **6** № 1-2, 37 (2008).
4. M. Guggisberg, P. Fornaro, T. Gyalog, H. Burkhart, *Future Gener. Comp. Sy.* **19**, 133 (2003).
5. P. Chaunan, S. Annapoorni, S.K. Trikha, *Thin Solid Films* **346**, 266 (1999).
6. A. Bearzotti, J.M. Bertolo, P. Innocenzi, P. Falcaro, E. Traversa, *J. Eur. Ceram. Soc.* **24**, 1969 (2004).

6. L.S. Martin, L.C. Wrbanek, G.C. Fralick, *Thin Film Sensors for Surface Measurements*, 1 (Cleveland: Ohio: 2001).
7. D.J. Lichtenwalner, A.E. Hydrick, A.I. Kingon, *Sensor Actuat. A-Phys.* **135**, 593 (2007).
8. G.-S. Chung, Ch.-H. Kim, *Microelectron. J.* **39**, 1560 (2008).
9. P.K. Patel, V.A. Kheraj, C.J. Panchal, M.S. Desai, P.D. Valik, K.J. Patel, *Indian J. Pure Ap. Phy.* **47**, 517 (2009).
10. P. Fornaro, M. Guggisberg, T. Gyalog, Ch. Wattinger, E. Meyer, H.-J. Guntherodt, *A remote controllable and programmable atomic force microscope based on LabView* (Huethig GmbH: 2007).
11. M. Jurcevic, R. Malaric, A. Sala, *Meas. Sci. Rev.* **6**, 36 (2006).
12. В.А. Патрахин, М.А. Кравец, *ПиКАД - Промышленные измерения, Контроль, Автоматизация, Диагностика* № 3-4, 26 (2003).
13. <http://expressionflow.com/2007/10/01/labview-queued-state-machine-architecture/>.