

## **Виявлення дефектів у приладах з тепловими сенсорами**

### **Обнаружение дефектов в устройствах с тепловыми сенсорами**

#### **Detection of defects in devices with thermal sensors**

**1. Номер державної реєстрації теми – 0108U000477, 2128-ф.**

**2. Науковий керівник – д.т.н., проф. Богорош О.Т., Богорош А.Т., Bogorosh Alexandr T.**

#### **3. Суть розробки, основні результати**

**(укр.)**

Робота спрямована на розвиток методів технічної діагностики структур та матеріалів теплових сенсорів методами акустичної емісії, магнітного контролю та тепловими методами неруйнуючого контролю, а також аналіз явищ, що впливають на появу тріщин в структурах матеріалу.

Математичне моделювання процесу роботи різних конструкцій теплових сенсорів в різних середовищах і при різних зовнішніх впливах дозволяє передбачити і заздалегідь виявити дефекти. Разом з тим моделювання дозволяє теоретично досягти максимальної чутливості шляхом підбору різних композицій гетероструктур для виготовлення чутливих елементів, аналогічних фотонним приймачам з мінімальними власними генераційно-рекомбінаційними шумами, але які не збільшуються зі збільшенням температури. Відомі математичні моделі поля дефекту не враховують такі особливості реального об'єкту, як функція намагніченості, яка локалізована в обмеженій області, область намагніченості, що має невідому геометричну форму, та невизначеність розташування точки дослідження. В роботі запропонований новий метод аналізу магнітного поля дефектів на основі математичної моделі, що базується на векторному нелінійному інтегральному рівнянні Фредгольма II-го роду, а для дублюючої перевірки – на детермінованій кроковій моделі. Отримані схеми виявлених форм дефектів перерізів елементів, утворених в екстремальних умовах їх експлуатації.

Для обробки сигналів, отриманих від теплових сенсорів (тепловізійних зображень, отриманих при екологічному моніторингу) розроблені нові алгоритми на основі вейвлетів, що мають переваги над Фур'є-методами як у загальному і точному зображенні функцій, так і в їх різноманітних локальних особливостях. Вейвлет-спектрограми набагато інформативніші за звичайні Фур'є-спектрограми і, на відміну від останніх, дозволяють легко виявляти найменші локальні особливості зображень, що є дуже ефективним для задач ідентифікації. Переваги вейвлетів пояснюються тим, що вони подані набагато різноманітнішим набором типів, ніж одна єдина синусоїдальна функція в рядах Фур'є. Це набагато збільшує кількість прикладних задач, які можна розв'язати за їх допомогою. В області обробки зображень вейвлети дають нові й досить ефективні способи їх обробки: декомпозиції, реставрації та ідентифікації зображень, видалення з них шуму, стиснення файлів, що зберігають зображення. Запропоновані в роботі методи на основі вейвлет-обробки зображень дають можливість на якісно новому рівні і набагато ефективніше проводити їх поліпшення з метою отримання адекватної інформації про об'єкти дослідження, а також істотно зменшити обсяги інформації практично без погіршення її якості.

За результатами досліджень підготовлені 3 навчальних посібника, опублікована 31 стаття у фахових виданнях ВАК України та закордонних журналах, отриманий патент Російської Федерації, як апробація запропонованих у роботі моделей, методів та методик зроблено 44 доповіді на вітчизняних та міжнародних конференціях та семінарах.

**(рос.)**

Работа направлена на развитие методов технической диагностики структур и материалов тепловых сенсоров методами акустической эмиссии, магнитного контроля и

тепловыми методами неразрушающего контроля, а также анализ явлений, влияющих на возникновение трещин в структурах материала.

Математическое моделирование процесса работы различных конструкций тепловых сенсоров в разных средах и при разных внешних воздействиях позволяет предвидеть и заранее выявлять дефекты. Вместе с тем моделирование позволяет теоретически достичь максимальной чувствительности путем подбора разных композиций гетероструктур для изготовления чувствительных элементов, аналогичных фотонным приемникам с минимальными собственными генерационно-рекомбинационными шумами, которые не растут с увеличением температуры. Известные математические модели поля дефекта не учитывают таких особенностей реального объекта, как функция намагниченности, локализованная в ограниченной области, область намагниченности, имеющая неизвестную геометрическую форму, и неопределенность расположения точки исследования. В работе предложен новый метод анализа магнитного поля дефектов на основе математической модели, которая базируется на векторном нелинейном интегральном уравнении Фредгольма II-го рода, а для дублирующей проверки – на детерминированной шаговой модели. Получены схемы выявленных форм дефектов сечений элементов, образованных в экстремальных условиях их эксплуатации.

Для обработки сигналов, полученных от тепловых сенсоров (тепловизионных изображений, полученных при экологическом мониторинге) разработаны новые алгоритмы на основе вейвлетов, имеющие преимущества перед Фурье-методами как в общем и точном изображении функций, так и в их разнообразных локальных особенностях. Вейвлет-спектрограммы намного более информативны, чем обычные Фурье-спектрограммы, и, в отличие от последних, позволяют легко выявлять тончайшие локальные особенности изображений, что очень эффективно для задач идентификации. Преимущества вейвлетов объясняются тем, что они представлены намного более разнообразным набором типов, чем единственная синусоидальная функция в рядах Фурье. Это расширяет количество прикладных задач, которые можно решить с их помощью. В области обработки изображений вейвлеты дают новые и достаточно эффективные способы их обработки: декомпозиции, реставрации и идентификации изображений, удаление из них шума, сжатие файлов, сохраняющих изображения. Предложенные в работе методы на основе вейвлет-обработки изображений дают возможность на качественно новом уровне и намного эффективнее проводить их улучшение с целью получения адекватной информации об исследуемых объектах, а также существенно уменьшить объемы информации практически без потери ее качества.

По результатам исследований подготовлено 3 учебных пособия, опубликована 31 статья в специализированных изданиях ВАК Украины и зарубежных журналах, получен патент Российской Федерации, в качестве апробации предложенных в работе моделей, методов и методик сделано 44 доклада на отечественных и международных конференциях и семинарах.

**(англ.)**

Activity is guided on evolution of methods of engineering diagnostic of structures and materials of thermal sensors by methods of an acoustic emission, magnetographic inspection and thermal methods of nondestructive check, and also the analysis of the appearances influencing origination of flaws in structures of a material.

Mathematical model operation of process of activity of various constructions of thermal sensors in different mediums and at different external actions allows to anticipate and in advance to reveal flaws. At the same time, model operation allows to reach peak response theoretically. By selection of different compositions of heterostructures for manufacture of the pickups analogous to photon receivers with the underload characteristic generation-recombination noise which do not grow with magnification of temperature.

Known mathematical models of a field of flaw the field of magnetization having the unknown geometrical form, and indeterminacy of a disposition of a point of examination do not

consider such habits of real object, as the function of the magnetization localized in restricted field. The new method of the analysis of a magnetic field of flaws on the basis of mathematical model which is based on a vector non-linear integral equation of Fredholm of II-th kind, and for back-up checkout - on the determined step model is in-process offered. Schemes of the revealed forms of flaws of sections of the devices organized in extremal requirements of their maintenance are received.

For processing the signals received from thermal sensors (the thermovision images received at ecological monitoring) new algorithms on the basis of wavelets are developed. They have advantages before the Fourier-methods in the common and exact image of AND function in their manifold local habits. Wavelet-spectrograms are much more information, than normal Fourier-spectrograms and allow to reveal easily the most thin local habits of images that is very effective for problems of identification. Advantages вейвлетов speak that they are presented by much more manifold gang of types, than a single sinusoidal function in the ranks of the Fourier. It dilates quantity of applied problems which can be solved with their help.

In the field of an image processing вейвлеты give new and effective ways of their processing: decomposition, restorals and identifications of images removal from them noise, file compression. The methods offered in-process on the basis of wavelet-processing of images enable at qualitatively new level and much more effectively to conduct their martempering with the purpose of obtaining of the adequate information on prototype systems. They allow to reduce essentially information contents practically without losses of its quality.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності**

– Патент №20101226493 «Способ установки неразъемной идентификационной нанометрии» / Шкилев В.Д., Адамчук В.Д., Богорош А.Т., Воронов С.А., Мелехов И.В. – від 5.08.10 р. (Росія);

– Заявка на винахід №201006784 «Спосіб ідентифікації об'єктів» / Богорош О.Т., Воронов С.О., Шкилев В.Д. – від 01.06.10 р. (Україна), позитивне рішення на видачу патенту України.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами**

Робота виконана на рівні найкращих світових стандартів у даній галузі, в публікаціях відсутня інформація про застосування в сенсорних системах штучного піроефекту.

Світових аналогів немає.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Отримані в результаті роботи методики, моделі, схеми збільшують імовірність безвідмовної роботи теплових сенсорів на 15%, їх чутливість – до  $11 \cdot 10^2$  В/Вт, а пороговий потік зменшується до  $3 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>. В результаті застосування вейвлет-технології до тепловізійних зображень їх об'єктивний інтегральний показник якості збільшиться у середньому на 8%.

Отримані математичні моделі, методи та методики досліджень можуть бути використані в дослідних зразках теплових формувачів зображень.

Теоретичні розробки НДР можуть будуть застосовані в екології: розв'язання задач прогнозування, спостереження та керування станом оточуючого середовища, зокрема контроль парникових газів в атмосфері та рівень ґрунтових вод, в нафтодобувній промисловості (виявлення витоків нафти на поверхні землі та водоймищ), в синергетиці, при вивченні фазових переходів у сегнетоелектричних матеріалах.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації)**

Застосування результатів роботи також має практичне значення і в інших галузях промисловості:

1) машинобудуванні (термохвильова дефектоскопія антикорозійних покриттів, тепла товщинометрія плівок, тепла дефектоскопія шин, покриттів, якості закалювання та термозміцнення);

2) матеріалознавстві (теплова діагностика напруженого стану об'єктів на основі термоеластичного ефекту);

3) приладобудівній техніці (теплова діагностика радіоелектронної апаратури, напівпровідникових приладів, мікросхем, друкованих плат, трансформаторів, конденсаторів, резисторів, температурний контроль технологічних процесів, дослідження електролітичних ванн, контроль виробництва пластмас).

Можливі користувачі: НДІ «Елвіт» (м. Львів), НВО «Квант» (м. Київ).

## 8. Стан готовності розробки

Теоретично обґрунтовані нові принципи побудови математичної моделі руйнування перерізів структур детекторів; обґрунтована детермінована крокова математична модель для процесу діагностики методами акустичної емісії; отримані схеми виявлених форм дефектів перерізів елементів, утворених в екстремальних умовах їх експлуатації; алгоритми та елементи програмного забезпечення, базовані на принципово новому апараті зображення функцій і сигналів, що є новим напрямом в теорії та практиці обробки функцій, сигналів та зображень.

Розроблені математичні моделі дозволяють оптимізувати конструктивні тепло- та електрофізичні параметри приладів реєстрації та формування зображень у довгохвильовому оптичному діапазоні.

Отримані математичні моделі, методи та методики досліджень можуть бути використані в дослідних зразках теплових формувачів зображень.

## 9. Існуючі результати впровадження

1) Навчальний посібник "Управління властивостями сполук та їх прогнозування. Фізико-хімічна інформатика", автори Богорош О.Т., Воронов С.О., Шайко-Шайковський О.Г., Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2010, 232 с.;

2) Навчальний посібник "Фізичне матеріалознавство. Частина 3. Метали і магнетики", автори Поплавко Ю.М., Воронов С.О., Якименко Ю.І., 340 с. (отриманий гриф МОН України і передано до друку у листопаді 2009 р.);

3) Навчальний посібник "Фізичне матеріалознавство. Частина 4. Напівпровідники", автори Поплавко Ю.М., Ільченко В.І., Воронов С.О., Якименко Ю.І., (отриманий гриф МОН України і передано до друку у вересні 2010 р.);

4) Навчальний посібник «Нові речовини і матеріали», автори Богорош О.Т., Воронов С.О., Якименко Ю.І., 800с (направлений на присвоєння грифу МОН України, 2010).

Проведене випробування технологічних методик виявлення дефектів перерізів елементів для з'єднання чутливих елементів теплових сенсорів (Акт випробувань №1299-б від 29.10.2010 р.).

Результати роботи використані для створення нових розділів у курсах: "Екологія та охорона навколишнього середовища", розділ "Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг"; курс "Електронні прилади та пристрої", розділ "Виробництво електронних засобів"; курс "Лазерна і оптоелектронна техніка", розділ "Прилади і системи неруйнуючого контролю"; курс "Прикладна фізика", розділ "Піро- і п'єзоелектричні матеріали та розробка на їх основі приладів різного застосування"; курс "Фізика твердого тіла", розділ "Механізми електропереносу заряду в піросенсорних структурах"; курс "Фізичне матеріалознавство", розділ "Нові речовини на матеріали"; курс "Фізико-хімічна інформатика" розділ "Локальні методи досліджень", при проведенні лабораторних робіт з курсу "Математичне

модельовання фізичних процесів та прикладні програми" у новій роботі "Основи теорії вейвлетів. Вейвлети в MatLab", а також при виконанні курсових, бакалаврських і магістерських робіт та дипломних проектів.

#### 10. Назва організації, телефон, E-mail України

НТУУ "КПІ", Фізико-технічний інститут, кафедра прикладної фізики, лабораторія оптичних методів реєстрації інформації, 406-83-82, s.muravov@kpi.ua.

#### 11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

За матеріалами досліджень за період виконання розробки опубліковано 31 стаття у фахових виданнях ВАК України та закордонних журналах, зроблено 44 доповіді на вітчизняних та міжнародних конференціях та семінарах, в тому числі зі студентами ФТІ. Найвагомішими з публікацій є такі:

- 1) The influence of vibroacoustics on self-organizing of site nanostructures onto silicon substrate /A.Bogorosh, S.Voronov, S.Larkin, V.Roizman, N.Visniakov, J.Novickij, D.Scekaturoviene, A.Bubulis//Vibromechanika. Journal of Viroengineering, 2008, sept., vol.10. ISSUE 3. ISSN 1392-8716.- P.383-387.
- 2) Исследование физико-механических свойств тугоплавких наноструктурных тонких пленок/ Богорош А.Т., Воронов С.А., Ройзман В.П., Сокол В.М., Бубулис А.// Мысль. Израиль, Арад,-2008. - №8. – С.69-78.
- 3) Yuriy Poplavko, Vitaliy Molchanov, Valeriy Pashkov. Eugene Furman, and Michael Lanagan, Frequency tunable microwave dielectric devices. Telecommunication and Radio Engineering, 2008, vol. 66, Issue 15, pp. 1371-1379, Begell House Press, USA (**має impact-factor**).
- 4) A.Bogorosh, S.Voronov, S.Larkin, V.Karachiun, N.Višniakov, J.Novickij, D.Šcekaturoviene. Modeling of defects in electronic navigation devices operating in extreme conditions // Aviation. Vilnius: Technika, 2008, Vol. 12, No. 1 , p. 3-9.
- 5) The analysis of defects propagation in navigating electronic devices / A.Bogorosh, S.Voronov, N.Vishiakov, J.Novickij //Vibromechanika. Journal of Vibroeengineering, march, 2009, volume 11, Issue 1. - p.78-83 (**входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-8716**).
- 6) Y.M. Poplavko, V.I. Molchanov, Y.I. Yakimenko. Piezo-controlled microwave devices. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2009, 1(1), pp. 49-56 (**має impact factor**).
- 7) Microrelations for diagnostic devices /S.Muravov, S.Voronov, A.Bogorosh, V.Royzman, A.Bubulis //Microelektronika. – 2009, Nr 89. – p.171-174.
- 8) Bogorosh A.T., Voronov S.A., Sokol V.M. The effect of pH onto luminescence intensity of monowall carbonic nano-tubes in aquatic environments./Israeli Independent Academy for Development of Sciences Israel (IADSI), The Bulletin of Academy.-Vol.16, 2009.- p.26-29.
- 9) Богорош О.Т., Воронов С.О., Кротов В.В., Муравов С.О., Юдін А.С. Про напруження в паяних з'єднаннях мікросхем// Електроника и связь, Тем.выпуск "Электроника и нанотехнологии", ч.2, 2009, с.48–53. (**входить до переліку ВАК України**).
- 10) Богорош О.Т., Воронов С.О., Муравов С.О., Зінаков К.О., Юдін А.С. Дослідження масивів незарощених квантових точок, отриманих методом рідкофазної епітаксії, за допомогою скануючої тунельної і атомно-силової мікроскопії// Електроника и связь, Тем.выпуск "Электроника и нанотехнологии", ч.2, 2009, с.68–72. (**входить до переліку ВАК України**).
- 11) Боженко В.І., Воронов С.О., Кондратов П.О., Муравов С.О., Шклярський В.І. Динамічне накопичення піросигналу в процесі його багатокадрової обробки// Електроника и связь, Тем.выпуск "Электроника и нанотехнологии", ч.2, 2009, с.95–98. (**входить до переліку ВАК України**).

- 12) Боровик Л.В., Богорош А.Т., Воронов С.А., Муравов С.А. Влияние ультразвуковой вибродинамики на синтез игольчатых кристаллов и их свойства. // Электроника и связь, ч.1, №2-3, 2009, с.196-201. **(входить до переліку ВАК України).**
- 13) A.Bogorosh, S.Voronov, V.Karachevtsev, A.Glamazda, A.Bubulis. Influence of pH of luminescence of one layer carbon nanotubes in water environments// Journal of Vibroengineering, 2010, v.12, pp.113–118 **(входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-8716).**
- 14) S.Voronov, Y.Poplavko, A.Bogorosh, A.Bubulis. Piezo- and pyroelectric GaAs sensors integrated in one crystal with GaAs FET// Journal of Vibroengineering, 2010, v.12, pp.119–123 **(входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-8716).**
- 15) A.Bubulis, A.Bogorosh, V.Jurenas, S.Voronov. Development of cavitation applications for the remediation of contaminated water// Mechanika, №1(81), 2010, pp.43–46 **(входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-1207).**
- 16) Bogorosh a.t., Voronov S.A., Rozman V.P., Bubulis A. Methods of defence of the electronic nanosystem from shots and vibration // Vibromechanika. Journal of Vibroengineering. 2010. Volume 17, Issue 1. ISSN 1392-8716, p.120-125 **(входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-8716).**
- 17) Bogorosh a.t., Voronov S.A., Rozman V.P., Bubulis A. Education nano blast-furnace structures and defects in segnetoelectricians from the action of mechanical vibration or shots // Vibromechanika. Journal of Vibroengineering. 2010. Volume 17, Issue 1. ISSN 1392-8716, p.129-130 **(входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-8716).**
- 18) Bogorosh a.t., Voronov S.A., Rozman V.P., Bubulis A. Nanocontainers //Mechanika, 2010, m. Nr 2 (82) ISSN 1392-1207. P.48-49 **(входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-1207).**
- 19) Bogorosh a.t., Voronov S.A., Rozman V.P., Bubulis A. Vertical pezoresponse in area of cylindrical domens and kinetics of their education // Vibromechanika. Journal of Vibroengineering. 2010. Volume 17, Issue 1. ISSN 1392-8716, p.138-140 **(входить до наукометричної БД Scopus, ISSN 1392-8716).**

**12. Застосована під час проведених в рамках НДР досліджень:**

- апаратура для формування топографічних перерізів елементів з'єднань чутливих елементів теплових сенсорів:



Установка по отриманню матеріалів для теплових сенсорів

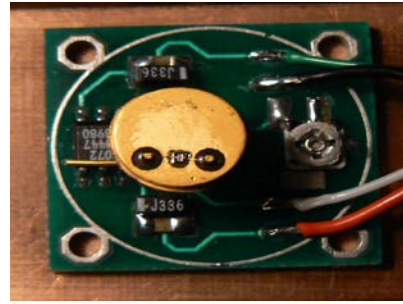


Установка для формування гетероструктур сенсорних чутливих елементів

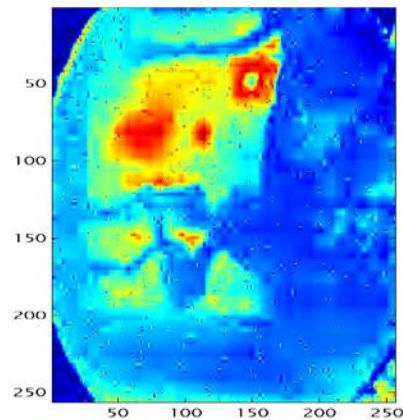
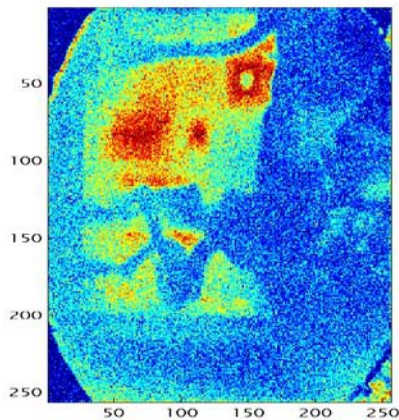
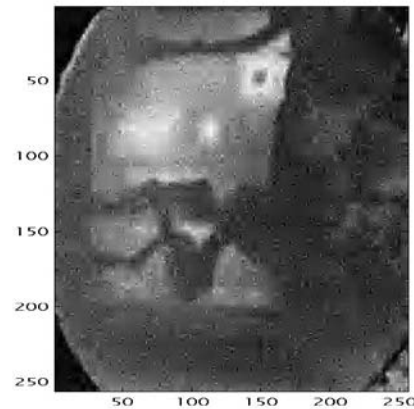
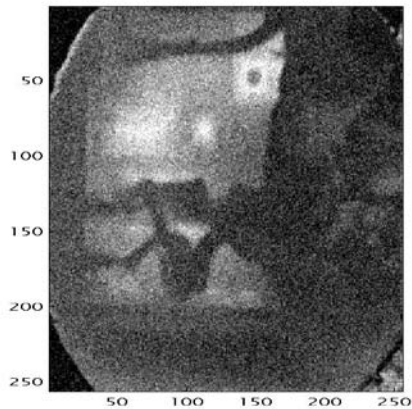
- апаратура для контролю з'єднань перерізів елементів теплових сенсорів:



Диференційно-фазовий скануючий лазерний мікроскоп для дослідження перерізів чутливих елементів



Плата з досліджуваним сенсором ГЧ випромінювання (вид зверху та під час роботи)



а)

б)

Приклад роботи методу із застосуванням вейвлет-технології обробки тепловізійних зображень з їх компресією: а – вихідне зашумоване зображення; б – оброблене зображення