

УДК 658.5.011.46

Ю. В. Коломзаров, С. Л. Кравченко, В. П. Маслов, В. В. Забудський

Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України, Київ

Тепловізійний неруйнівний метод дослідження
прозорих тонкоплівкових нагрівачів

Надійшла до редакції 14.10.04

Представлено результати дослідження розподілу температури по поверхні тонкоплівкових прозорих нагрівачів твіст-нематичних рідкокристалічних екранів за допомогою безконтактного тепловізійного методу.

ВСТУП

У сучасному літакобудуванні та космічній галузі для відображення інформації використовуються рідкокристалічні дисплеї (РКД): твіст-нематичні статичні, пасивно-матричні, активно-матричні та інші, які повинні безвідмовно працювати у жорстких умовах, зокрема при температурах до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6]. При таких низьких температурах рідкокристалічна речовина стає дуже в'язкою, тому для підтримання працездатності РКД потребує підігрівання. Через це конструкція РКД повинна передбачати використання прозорих тонкоплівкових нагрівачів. Контроль якості виготовлення цих нагрівачів полягає в оперативному дослідженні розподілу теплових полів у плівці нагрівача та у РКД, для чого найприйнятнішим видається тепловізійний метод.

Як відомо, тепловізор є безконтактним приладом для вимірювання та реєстрації температурних полів [3]. Він реєструє ІЧ-випромінювання від досліджуваних об'єктів та може визначати їхню температуру або розподіл теплових полів по поверхні об'єкта. Тепловізійні неруйнівні методи контролю композиційних та шаруватих матеріалів, зварних швів та інших елементів конструкції мають цілий ряд переваг у порівнянні з іншими методами [4]: дистанційність (безконтактний метод), висока продуктивність, можливість реєстрації картини розподілу теплових полів. Це особливо важливо для контролю прозорих та багат шарових об'єктів [1].

Наша робота присвячена питанням практичного дослідження та контролю однорідності тонкоплівкових нагрівачів розроблених в Інституті фізики

напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України твіст-нематичних РКД для вітчизняного літакобудування та застосуванню для цього дослідного зразка малогабаритного тепловізора.

КОНСТРУКЦІЯ ТВІСТ-НЕМАТИЧНОГО РІДКОКРИСТАЛІЧНОГО ДИСПЛЕЯ

Деклараційним патентом України на корисну модель [2] була запропонована конструкція твіст-нематичного РКД з додатковим нагрівачем (рис. 1).

Конструктивно твіст-нематичний РКД складається з двох герметично склеєних клеєм 3 прозорих підкладок 1 та 2 з нанесеними прозорими електродами, орієнтуючими шарами та контактними площадками з зовнішніми виводами 8. Простір між скляними підкладками заповнений рідкокристалічною речовиною 4. На фронтальну поверхню, обер-

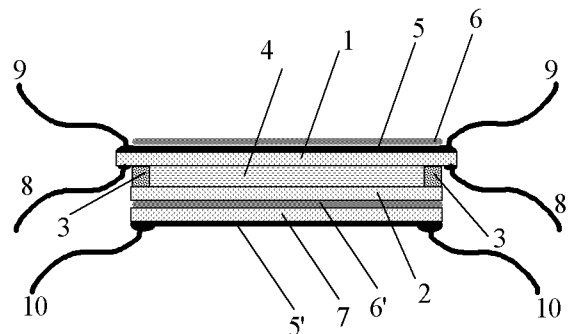


Рис. 1. Конструкція твіст-нематичного рідкокристалічного дисплея з додатковим нагрівачем

нену до спостерігача, наклеєно плівковий поляризатор *b* з антивідблисковим покриттям. На зовнішню поверхню підкладки 2 наклеєно напівпрозорий-напіввідбивний плівковий поляризатор *b'*. Для забезпечення працездатності РКД при низьких температурах використовується нагрівач [7, 8], конструкція якого передбачає надійність, можливість передачі тепла рідкокристалічній речовині якомога швидше та без втрат. Крім того, нагрівач не повинен заважати системі підсвічування та спостерігачу. Аналіз різних конструктивних рішень, викладених у роботі [5], показав, що найефективнішою є конструкція, у якій прозорий тонкоплівковий нагрівач вбудований у середину РКД та має безпосередній тепловий контакт з рідкокристалічною речовиною. Однак така конструкція технологічно дуже складна, тому що потребує використання товстих прозорих електроізоляційних покриттів. Тому прийнятнішою є конструкція, у якій нагрівач створюється вакуумним розпорощенням прозорого струмопровідного шару 5 товщиною 100 нм на фронтальну поверхню скляної підкладки 1. Струмопровідний шар цього нагрівача має високу адгезію до скла, і на нього можна наклеювати плівковий поляризатор. Для рівномірнішого та швидшого нагрівання конструкція РКД передбачає додатковий нагрівач, який складається зі скляної підкладки 7 та напорошеного прозорого струмопровідного шару 5'. Фронтальний та додатковий прозорі нагрівачі мають зовнішні виводи 9 та 10 для прикладання електричної напруги. При температурах вище 0 °С напруга на нагрівачі не подається. Для нижчих температур на нагрівачі подається необхідна електрична потужність та здійснюється нагрівання РКД до температури 0 °С, після чого він готовий до роботи.

Зі зниженням температури без підігрівання час перемикання РКД суттєво збільшується. При температурі – 40 °С та нижче РКД замерзає та перестає відображати інформацію. При нагріванні працездатність екрана відновлюється.

Головним недоліком РКД, виготовлених із традиційних скляних матеріалів, є необхідність їхнього повільного довготривалого нагрівання. При швидкому нагріванні вони руйнуються. Використання склокерамічних прозорих композиційних матеріалів з ультранизьким коефіцієнтом термічного розширення ($-0.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} < \text{КТР} < 0.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) дозволяє суттєво підвищити надійність РКД, збільшити електричну потужність нагрівачів та зменшити час нагрівання РКД при низьких температурах. Прикладом таких матеріалів можуть слугувати склокерамічні композиційні матеріали типу «Zerodur» та «Ceram» виробництва фірми «Шотт»

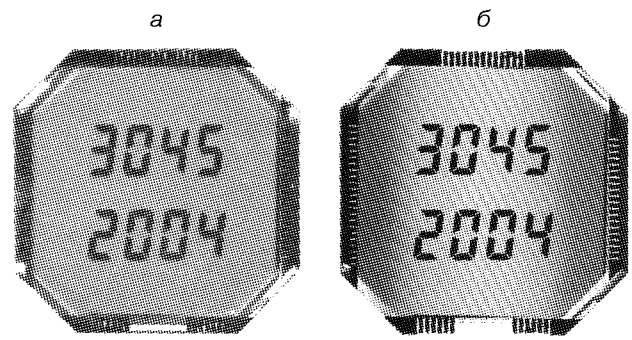


Рис. 2. РКД зі склокерамічних матеріалів: *a* — у режимі на відбивання світла, *b* — у режимі на пропускання світла (підсвічування лампою денного світла)

(Німеччина), або аналогічні з КТР у межах $\alpha = (0 \pm 0.3) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ у діапазоні температур від –100 до +500 °С.

Низькі значення КТР у цих матеріалах обумовлені тим, що у порівнянні з відомим оптичним склом склокерамічні матеріали у своєму складі мають мікрокристалічний компонент β -свекрепит, КТР якого має від'ємне значення ($-100 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), і тому склокерамічні прозорі композиційні матеріали витримують швидко охолодження чи нагрівання на сотні градусів без механічного руйнування.

Зовнішній вигляд РКД з відображуваною інформацією, виготовлених зі склокерамічних матеріалів, у режимах на відбивання світла та на пропускання світла представлено на рис. 2.

ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАГРІВАЧІВ

Дослідження якості виготовлення тонкоплівкових прозорих нагрівачів провадилися за допомогою дослідного зразка малогабаритного тепловізора, розробленого та створеного в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України спільно з Фізико-технічним інститутом низьких температур НАН України (Харків). Тепловізор має достатньо високу роздільну здатність по температурі (0.2 К) та високу продуктивність. Його програмне забезпечення дозволяє візуалізувати термограми у реальному масштабі часу, визначати абсолютну та відносну температуру у будь-якій точці, будувати термопрофілі уздовж визначеної ділянки та автоматично визначати максимальну, мінімальну та середню температури.

У першому експерименті до додаткового нагрі-

вача розміром 52×52 мм з напорошеним прозорим струмопровідним шаром була прикладена електрична потужність 1.2 Вт впродовж 10 хв. Після цього були отримані термограми нагрівача з двох протилежних боків: з боку тонкоплівкового покриття (рис. 3, а) та з боку скляної підкладки (рис. 3, б). Отримано також профілі температури вздовж

вертикальної осі (крива 1) та вздовж діагоналі (крива 2). З порівняння термограм можна зробити висновок, що товщина підкладки 1.1 мм є достатньою, щоб суттєво вирівняти температурне поле по поверхні нагрівача. Тому додатковий нагрівач необхідно розташовувати так, щоб він був обернений підкладкою до РКД, як показано на рис. 1.

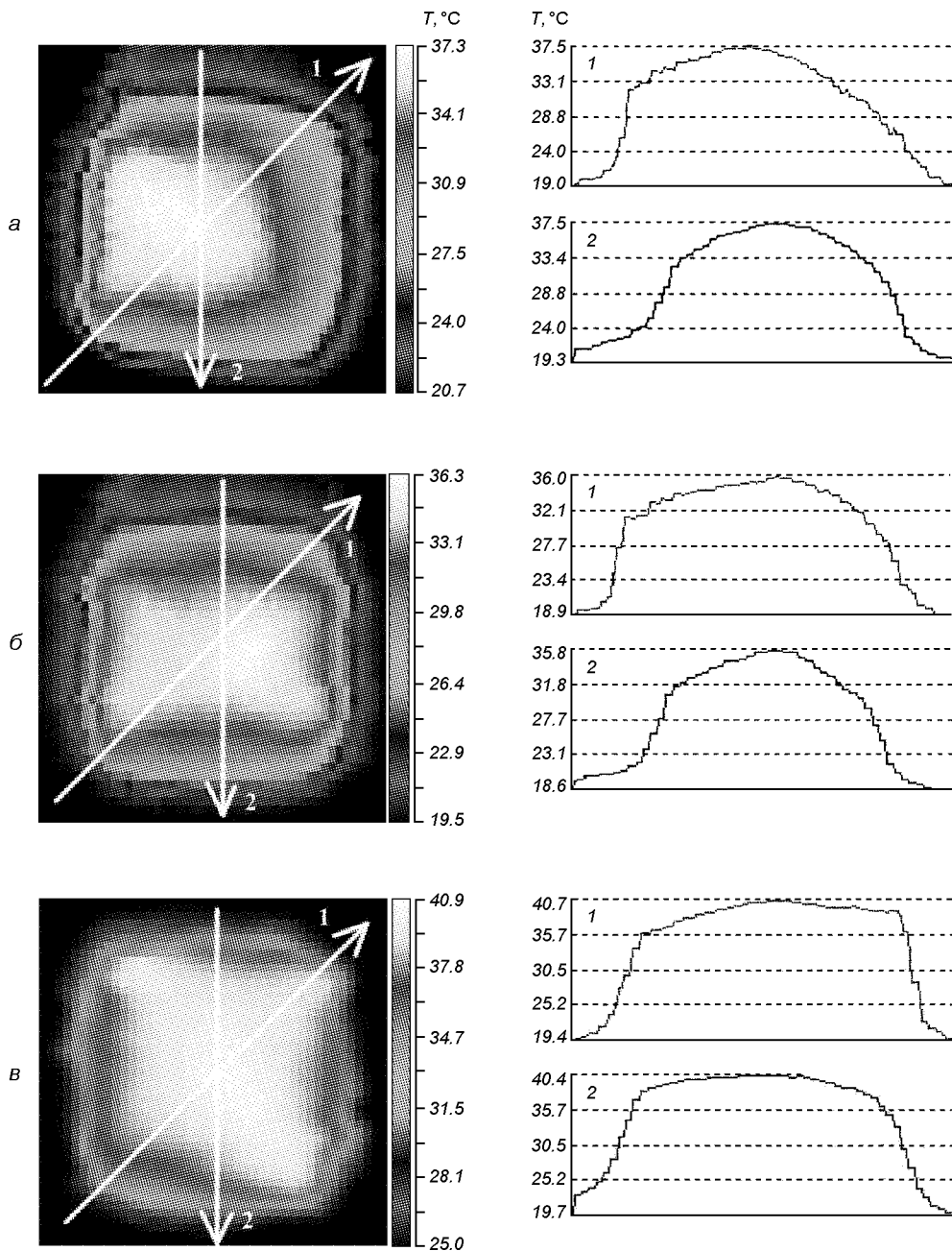


Рис. 3. Термограми та температурні профілі уздовж ліній 1 та 2: а — додаткового нагрівача з боку тонкоплівкового покриття, б — додаткового нагрівача з боку скляної підкладки, в — рідкокристалічного екрана з боку тонкоплівкового покриття

У другому експерименті досліджувалось температурне поле рідкокристалічного екрана розміром 58×58 мм зі сторони тонкоплівкового нагрівача (див. рис. 2) з напиленим прозорим струмопровідним шаром, до якого була прикладена електрична потужність 2 Вт впродовж 4 хв. З аналізу отриманої термограми (рис. 3, в) можна зробити висновок, що нагрівач у зоні спостереження інформації (коло радіусом 25 мм у центрі РКД) нагрітий досить рівномірно (від 36 до 40 °С). Враховуючи те, що вимірювання проводились на відкритому повітрі при кімнатній температурі (тобто йшло ефективне конвекційне охолодження зразка РКД), можна з великим ступенем імовірності стверджувати, що РКД, поміщений у корпус, буде прогріватися ще рівномірніше та швидше. На жаль, отримати термограми РКД у корпусі неможливо, оскільки його конструкція передбачає наявність зовнішнього захисного скла, яке є непрозорим у досліджуваному діапазоні довжин хвиль.

ВИСНОВКИ

1. Експеримент показав, що додатковий нагрівач досліджуваного рідкокристалічного дисплея у зоні спостереження інформації (коло радіусом 25 мм у центрі РКД) нагрівається досить рівномірно. Це значить, що товщини підкладки 1.1 мм достатньо, щоб суттєво вирівняти температурне поле по поверхні нагрівача. Тому додатковий нагрівач необхідно розташовувати так, щоб він був обернений підкладкою до РКД.

2. Результати проведених досліджень свідчать, що тепловізор може ефективно застосовуватися для експресного неруйнівного контролю рівномірності нагрівання РКД тонкоплівковими прозорими нагрівачами. Тепловізор також може виявитися дуже ефективним засобом для контролю якості та однорідності композиційних та шаруватих матеріалів, зварних швів та інших конструктивних елементів. Крім того, унікальні можливості тепловізора дозволяють широко застосувати його у всіх галузях

народного господарства, де потрібний оперативний безконтактний контроль: будівництві, медицині, зондуванні земної поверхні тощо.

Роботи зі створення дослідних зразків РКД та тепловізійні дослідження були проведені у рамках виконання проекту № 3045 за сприяння Українського науково-технологічного центру.

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с фран. — М.: Мир, 1988.—416 с.
2. Декларативний патент України № 4517 на корисну модель. Рідкокристалічний дисплей / Ю. В. Коломзаров, В. П. Маслов, Ю. Г. Толстих, Ю. Я. Циркунов. — Опубл. 17.01.05, Бюл. № 1.
3. Мирошникова М. М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. — Л.: Машиностроение, 1983.—237 с.
4. Стороженко В. А., Вавилов В. П., Волчек А. Д. Неразрушающий контроль качества промышленной продукции активным тепловым методом. — Киев: Техніка, 1988.—189 с.
5. Comparison of Thin-film and Wire-element Heaters for Transparent Applications. Application Aid \#30, Minco, 07.31.2001 (Minco Products, Inc. Main Office). 7300 Commerce Lane Minneapolis, MN 55432-3177 U.S.A. (www.minco.com).
6. Kalluri R. Sarma AMLCD Manufacturing for Avionics Application // Inform. Display.—2001.—17, N 8.—P. 14.
7. Pat. N US2002/0089638 A1 USA. ITO heater / K. P. Ho, Richard C. H. Lee, Y. L. Law, C. C. Leung. — Publ. 11.07.02.
8. Pat. N US2004/0036834 A1 USA. Liquid crystal display device, image shifting device, and image display apparatus / Noriaki Ohnishi, Yasuhiro Kume. — Publ. 26.02.04.

THERMAL IMAGING NON-DESTRUCTIVE METHOD FOR INVESTIGATIONS OF TRANSPARENT THIN FILM HEATERS

Y. V. Kolomzarov, S. L. Kravchenko, V. P. Maslov,
V. V. Zabudsky

In present-day industry more and more problems on quality testing are solved by thermal imaging method. Modern thermal imagers can not only measure object temperature but also convert it to picture that represents thermal field distribution along the investigated object surface. There are great benefits, especially in the case of transparent thin film heaters quality testing. In this paper some results of temperature distribution investigations by thermal imaging method are discussed. This non-destructive remote testing method is characterized by satisfactory temperature resolution (0.2 K), high productivity and possibility to store and compare obtained results in easy for perception form. The suitability of this method is shown on the example of TN LCDs heater testing.