

Termowizyjne kamery obserwacyjne – budowa, zastosowania i krajowe możliwości realizacji

Streszczenie. W artykule omówiono podstawowe zespoły obserwacyjnych kamer termowizyjnych z chłodzonymi i niechłodzonymi matrycami detektorów podczerwieni oraz podano przykłady zastosowań tych kamer. Opisano parametry najnowszych zespołów matrycowych detektorów podczerwieni oraz zaprezentowano budowę obiektywów i zespołów elektronicznego przetwarzania danych kamery. Oszacowano krajowe możliwości seryjnej produkcji obserwacyjnych kamer termowizyjnych. Opisano i scharakteryzowano posiadaną w kraju bazę technologiczną.

Abstract. The article discusses essential modules of observation thermal cameras with cooled and uncooled focal plane arrays. In the article a brief description of the state of the art detector arrays parameters is present. There is also a description of optical system design and principal tasks of image processing units in thermal cameras. The article also describes characteristics of national technological infrastructure. (**Observation thermovision cameras – construction, application and national implementation capabilities**).

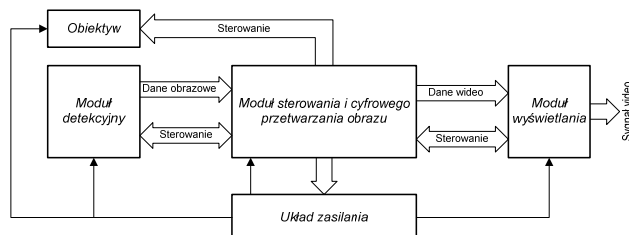
Słowa kluczowe: termowizja, obserwacyjne kamery termowizyjne, systemy ochrony, technologie termowizyjne.

Keywords: thermovision, surveillance systems, remote detection, thermovision technology.

doi:10.12915/pe.2014.09.02

Wstęp

Kamera termowizyjna działa na zasadzie przetwarzania promieniowania podczerwonego, emitowanego lub odbitego przez te objekty, na sygnał elektryczny a następnie na obraz oglądany na monitorze. Uproszczony schemat funkcjonalny kamery termowizyjnej przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Uproszczony schemat funkcjonalny kamery termowizyjnej

Kamera składa się z układu optycznego (obiektywu), detektora promieniowania podczerwonego (przy czym może to być detektor pojedynczy, linijka lub matryca detektorów wraz z układem chłodzenia), elektronicznego toru wzmacniania, przetwarzania i wizualizacji. Zależnie od spektralnego zakresu pracy, kamery termowizyjne dzieli się najczęściej na średniofalowe MWIR (zakres pracy $3 \div 5 \mu\text{m}$) i długofalowe LWIR ($8 \div 14 \mu\text{m}$). Produkowane są termowizyjne kamery pomiarowe (dokładny pomiar rozkładu temperatury) i obserwacyjne (wierne odwzorowanie obiektu, np. scenarii obserwowanego terenu, przy tylko jakościowej ocenie rozkładu temperatury).



Rys.2. Przykładowe obrazy termowizyjne sylwetki człowieka dla wykrycia, rozpoznania i identyfikacji

Zasięgi wykrywania (detekcji), rozpoznania i identyfikacji obserwacyjnych kamer termowizyjnych zależą głównie od trzech parametrów: rozdzielczości termicznej, liczby

detektorów w matrycy oraz kąta obserwacji kamery. Co dokładnie znaczą poszczególne stopnie rozpoznania obiektu przedstawiono na rysunku 2 na przykładzie wykrycia, rozpoznania i identyfikacji sylwetki człowieka. Wyraźnie widać, że zasięg wykrycia kamery dotyczy odległości, dla której obiekt jest zobrazowany jako jedynie kilka jasnych pikseli w obrazie termowizyjnym.

Technika termowizyjna jest obecnie coraz szerzej stosowana w przemyśle, nauce, medycynie i w technice wojskowej. Postęp w technologii wytwarzania detektorów podczerwieni spowodował, że kamery termowizyjne mają coraz większe czułości i rozdzielczości a rozwój elektroniki (procesory, układy programowalne) pozwolił na zmniejszenie masy i poboru mocy pobieranej przez kamerę.

Matrycowe detektory podczerwieni

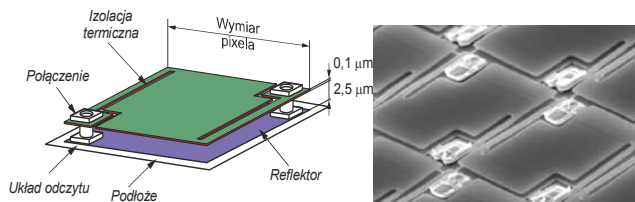
Do budowy nowoczesnych obserwacyjnych kamer termowizyjnych używa się głównie matrycowych detektorów chłodzonych wykonanych z InSb, HgCdTe lub detektorów QWIP. Rozmiary matryc detektorów podczerwieni są dostosowane do standardów wyświetlania obrazów i najczęściej są to matryce o wymiarach: 320x240, 384x288, 640x480, 640x512, 1280x1024 detektorów. Minimalny rozmiar pojedynczego detektora (piksela) dla matryc zakresu MWIR wynosi obecnie ok. $12 \mu\text{m}$ a dla zakresu LWIR ok. $15 \mu\text{m}$. Czułości termiczne detektorów chłodzonych są rzędu $10 \div 20 \text{ mK}$. Widok matrycowych detektorów podczerwieni z układami chłodzenia i elektronicznymi zespołami odczytu danych przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Widok matrycowych detektorów podczerwieni z układami chłodzenia i elektronicznymi zespołami układów odczytu danych. Od lewej: detektor LEO 640x512 ($15 \mu\text{m}$) firmy SOFRADIR (Francja), detektor PELICAN 640x512 ($15 \mu\text{m}$) firmy SCD (Izrael) oraz detektor HERCULES 1280x1024 ($15 \mu\text{m}$) firmy SCD [1]

W ostatnich latach bardzo intensywnie rozwija się produkcja matrycowych detektorów niechłodzonych, wśród których detektory mikrobolometryczne (rys. 4 i rys. 5) są najchętniej stosowane w kamerach bliskiego zasięgu. Mają

one czułość termiczną poniżej 40 mK, niewielkie wymiary elementów czułych (17 μm) i co najważniejsze dużą liczbę detektorów w matrycy (np. 1280x1024).

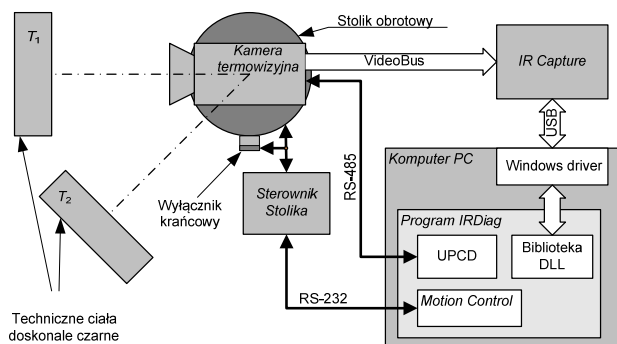


Rys.4. Budowa mikrobolometrycznego detektora podczerwieni – wymiar detektora (piksel) wynosi obecnie ok. 17 μm . Po prawej zdjęcie detektorów w matrycy [2]



Rys.5. Widok matrycowych mikrobolometrycznych detektorów podczerwieni w obudowach. Po lewej stronie matryca detektorów 1024x768 (17 μm) firmy ULIS (Francja). Pozostałe to matryce 640x480 firmy SCD (Izrael)

W matrycach detektorów podczerwieni część detektorów może mieć różną czułość oraz mogą występować uszkodzone (nieczułe) piksele. Aby usunąć wady detektorów w matrycy należy przeprowadzić tzw. korekcję NUC (non uniformity correction) na specjalnych stanowiskach pomiarowych (rys. 6) stosując odpowiednie metody zastępowania uszkodzonych pikseli i metody korekcji NUC.



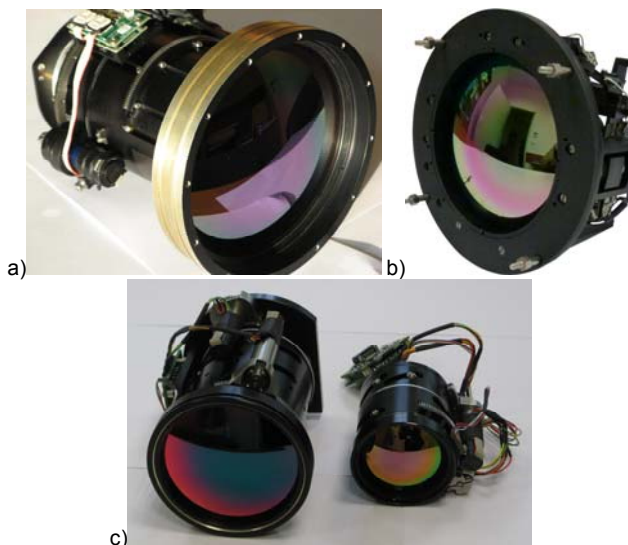
Rys.6. Schemat i zdjęcie stanowiska do wyznaczenia współczynników korekcji NUC oraz do określania uszkodzonych pikseli matrycy detektorów (Instytut Optoelektroniki WAT)

Prawie wszystkie zaprezentowane na powyższych rysunkach matryce detektorów podczerwieni były zastosowane w prototypach obserwacyjnych kamer termowizyjnych wykonanych w Polsce.

Obiektywy na zakres podczerwieni

Bardzo ważnym elementem kamery termowizyjnej jest obiektyw (rys. 7), który jest zbudowany z monokrystalu

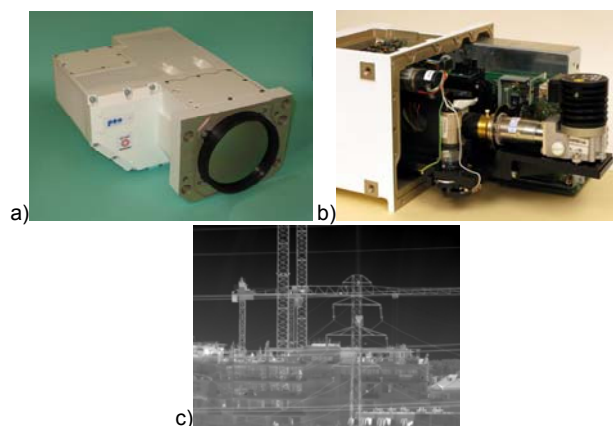
germanu, krzemu lub selenku cynku. W celu zwiększenia transmisji promieniowania podczerwonego, elementy optyczne obiektywu (soczewki, filtry) pokrywa się zazwyczaj dodatkowo warstwami przeciwoodbłaskowymi. W szczególności obiektywy obserwacyjnych kamer wojskowych mają specjalne (odporne na ścieranie) warstwy przeciwoodbłaskowe o strukturze diamentu (hard carbon).



Rys.7. Obiektywy kamer termowizyjnych, teleobiektyw na zakres LWIR (a), obiektyw dla dwóch kątów pola widzenia kamery MWIR (b) oraz obiektywy na zakres MWIR (c)

Krajowe możliwości produkcji kamer termowizyjnych

Z chwilą wstąpienia Polski do Unii Europejskiej zostało zniesione embargo na dostawy matrycowych detektorów podczerwieni oraz na dostęp do specjalnych technologii związanych z techniką podczerwieni. Pierwsze prace badawczo-rozwojowe z termowizji rozpoczęto w WAT i PCO S.A. dopiero w roku 2006. Już w roku 2009 powstała kamera termowizyjna III generacji przeznaczona do systemów kierowania ogniem (rys. 8).

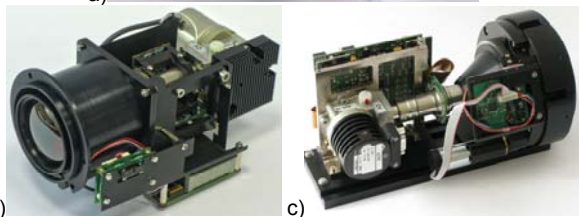


Rys.8. Kamera termowizyjna KT-1 (a, b) opracowana w WAT i PCO S.A. – w środku widoczny matrycowy detektor VENUS (SOFRADIR), oraz uzyskany termogram (c) (projekt celowy nr 350/BO/B) [3]

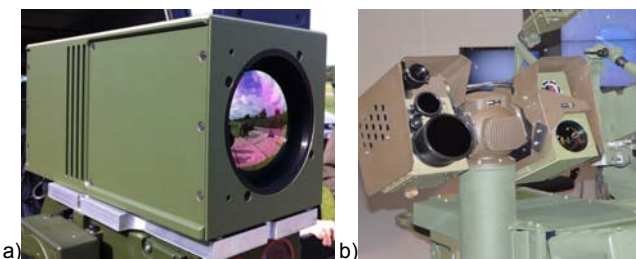
Widmowy zakres pracy kamery zawiera się w granicach 8÷12 μm , a rozdzielczość termiczna kamery wynosi 0,014°C [3]. Wszystkie elementy kamery (za wyjątkiem detektora VENUS) zostały opracowane i wykonane w kraju.

W ramach projektu rozwojowego nr O R00 0164 12 (NCBiR) realizowanego w latach 2011-2013 przez konsorcjum WAT, Bumar Elektronika S.A. i PCO S.A.

opracowano wielowidmowy, optoelektroniczny system wspomagający lądowanie samolotów. W systemie tym zastosowano dwie kamery termowizyjne (rys. 9) z najnowszymi matrycowymi detektorami chłodzonymi o wymiarach 640x512 pikseli (detektory wyprodukowały firmy SCD oraz AIM).



Rys.9. Zespół obserwacyjnych kamer termowizyjnych (a) - moduł detekcyjny kamery MWIR (b) z detektorem PELICAN (SCD) po prawej moduł detekcyjny kamery LWIR (c) z detektorem firmy AIM [4]

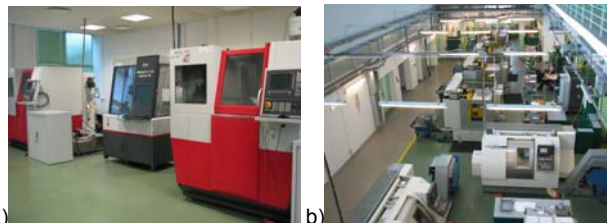


Rys.10. Prototyp obserwacyjnej kamery termowizyjnej (a) z matrycowym detektorem EPSILON firmy SOFRADIR (projekt rozwojowy O R00 0026 08, produkcja PCO S.A.) zamontowanej w zestawie przeciwlotniczym POPRAD (b) oraz termiczny obraz (c) samolotu ORLIK (odległość 2,5 km) [5]

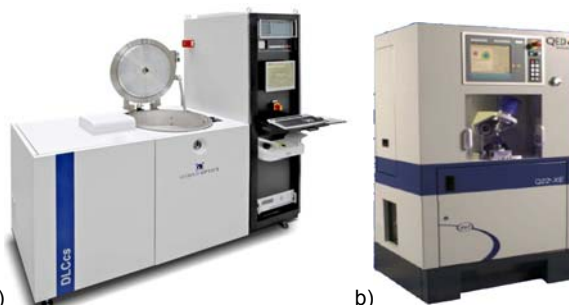


Rys.11. Termowizyjny celownik strzelecki (a) oraz widok projektów celowników termowizyjnych (b, c) do wyrzutni rakiety GROM (WAT, PCO S.A.)

W kraju kilka firm (VIGO System S.A., Etronika, PCO S.A.) opracowało różnego rodzaju obserwacyjne kamery termowizyjne z matrycami detektorów mikrobolo-metrycznych. Na rysunku 11 zaprezentowano celowniki termowizyjne (WAT, PCO S.A.).



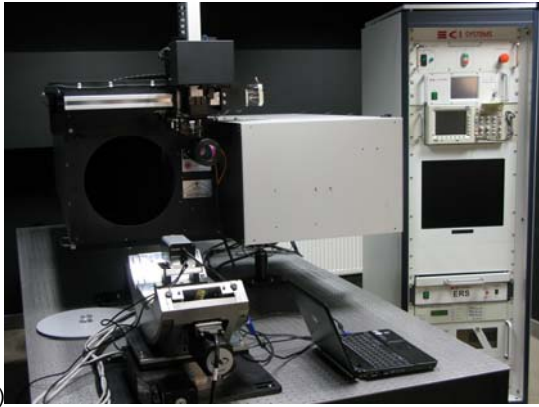
Rys.12. Linia do produkcji optycznych elementów asferycznych (po lewej) oraz numeryczne centra do wykonywania elementów mechanicznych w firmie PCO S.A.



Rys.13. Aparatura DLC (a) do próżniowego nanoszenia warstw typu Hard Carbon oraz aparatura QED (b) do precyzyjnego polerowania elementów optycznych cieczą magnetoreologiczną i interferometr laserowy (c) do pomiaru parametrów wykonanych elementów optycznych (IOE WAT)

Aby można było produkować seryjnie kamery termowizyjne III generacji należy jedynie zakupić odpowiednie matrycowe detektory podczwernieni. Pozostałe zespoły w tym zespoły optyczne, elektroniczne, mechaniczne i oprogramowanie można wykonać w kraju. Odpowiednia baza technologiczna (rys. 12) do tego celu została w ostatnich latach zakupiona, przy czym część aparatury technologicznej jest wdrożona i pracuje, a część specjalistycznych urządzeń (rys. 13) jest w fazie prób technologicznych.

Oprócz niezbędnej bazy technologicznej i odpowiednio przygotowanej kadry inżynierskiej do produkcji nowoczesnych kamer termowizyjnych III generacji potrzebna jest również specjalistyczna baza pomiarowa do oceny i kontroli parametrów wyprodukowanego sprzętu termowizyjnego. W Instytucie Optoelektroniki WAT (dzięki finansowaniu w programie Innowacyjna Gospodarka – Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego) powstało Akredytowane Laboratorium Badawcze (Akredytacja AB 109 PCA), które w swoich procedurach ma uprawnienia do wyznaczania podstawowych parametrów kamer termowizyjnych III generacji (rys. 14).



a)



b)

Rys.14. Zdjęcia stanowisk do pomiaru parametrów kamer termowizyjnych w Akredytowanym Laboratorium Badawczym Instytutu Optoelektroniki WAT

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników w projektach celowych i projektach rozwojowych finansowanych w latach 2005-2014 przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa

Wyższego oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz wyników własnych prac realizowanych w Instytucie Optoelektroniki WAT i w firmie PCO S.A. należy stwierdzić, że w kraju można produkować nowoczesne obserwacyjne kamery termowizyjne.

Podjęcie w kraju produkcji sprzętu termowizyjnego znaczenie uprości logistykę dostaw, serwis gwarancyjny, naprawy, przeglądy i modernizacje, niezbędne szkolenia i doradztwo. Jednocześnie będzie generowało to nowe miejsca pracy, a wprowadzenie nowych technologii z zakresu termowizji umożliwi w dalszej perspektywie produkcję urządzeń termowizyjnych do zastosowań paramilitarnych (policja, służby graniczne, straż, służby ratownicze).

LITERATURA

- [1] Materiały reklamowe firmy SCD, www.scd.co.il, data odczytu 03.04.2013.
- [2] Materiały reklamowe firmy ULIS, www.ulis-ir.com/, data odczytu 07.04.2013.
- [3] Madura H., Sosnowski T. i inni: Kamery termowizyjne z matrycami detektorów do celowników i systemów kierowania ogniem, Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu celowego nr 296/BO/A, Warszawa 2009
- [4] Madura H., Sosnowski T., Bieszczad G., Chmielewski K. i inni: Optoelektroniczny wielowidmowy system wspomagający lądowanie samolotów, Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu rozwojowego nr O R00 0164 12, Warszawa 2014
- [5] Madura H., Sosnowski T. i inni: Kamera termowizyjna z matrycowym detektorem fotonowym do systemów obserwacyjnych nowoczesnego uzbrojenia, Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu rozwojowego nr O R00 0026 08, Warszawa 2011

Autorzy: dr hab. inż. Henryk Madura, prof. WAT, dr inż. Tomasz Sosnowski, dr inż. Grzegorz Bieszczad, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: hmadura@wat.edu.pl, tsosnowski@wat.edu.pl, gbieszczad@wat.edu.pl.