

Skanowanie ciała w zakresie THz i MMW – krótki przegląd i badania własne

Streszczenie. W niniejszym artykule scharakteryzowano kilka dostępnych na rynku oraz będących w stanie zaawansowanego rozwoju systemów do skanowania ludzi wykorzystujących fale terahercowe i milimetrowe. Na tym tle zaprezentowano opracowany w WAT system skanowania wraz z modulem przetwarzania i fuzji obrazów.

Abstract. This paper presents state of the art and emerging body scanners operating in the terahertz and millimeter waves ranges. On this background, a passive scanning system developed in WAT is briefly characterized and its image processing and image fusion modules are described. (THz and MMW body scanners - state of the art and own research).

Słowa kluczowe: skaner ciała, promieniowanie terahercowe, kamery, przetwarzanie obrazów, fuzja obrazów.

Keywords: body scanner, terahertz radiation, camera, image processing, image fusion.

doi:10.12915/pe.2014.09.01

Wprowadzenie

Ostatnie dziesięć lat charakteryzuje się silnym rozwojem techniki wykorzystującej promieniowanie z pogranicza dalekiej podczerwieni i mikrofal w zakresie około 0,03–3 THz do skanowania ludzi. Jednym z motorów tego rozwoju są aplikacje w systemach bezpieczeństwa, związane z zagrożeniami terrorystycznymi ostatnich lat i umożliwiające podgląd przedmiotów umieszczonych na ciele człowieka pod ubraniem w celu wykrycia np. broni, bomb itp. Formalnie rzecz ujmując, fale o częstotliwości 0,03-0,3 THz tworzą podzakres fal milimetrowych (MMW), natomiast zakres częstotliwości 0,3-3 THz, będący formalnie daleką podczerwienią, przyjęto nazywać pasmem terahercowym (THz). W literaturze często rozszerza się tę definicję pasma THz do 0,1-3 THz.

Bardzo intensywnie rozwijane są technologie wykorzystujące dolne pasma tego zakresu, poniżej 0,3 THz, gdzie istnieje kilka produktów oferowanych komercyjnie. Natomiast, w zakresie wyższych częstotliwości prowadzone są intensywne badania, ale brak jest jeszcze komercyjnie dostępnych rozwiązań, gdyż obrazowanie z wykorzystaniem fal krótszych jest trudniejsze z przyczyn technologicznych, ale potencjalnie daje lepszą rozdzielczość oraz mniejsze rozmiary urządzenia. W zastosowaniach technicznych są spotykane zarówno systemy pasywne i aktywne [1-2]. Systemy pasywne detekują różnicę temperatury i emisyjności pomiędzy ciałem ludzkim a ukrytym pod ubraniem przedmiotem, np. bronią czy materiałem wybuchowym. Systemy aktywne bazują na różnicy refleksyjności poszczególnych elementów obiektu (człowieka) oświetlanego wiązką promieniowania [1-2].

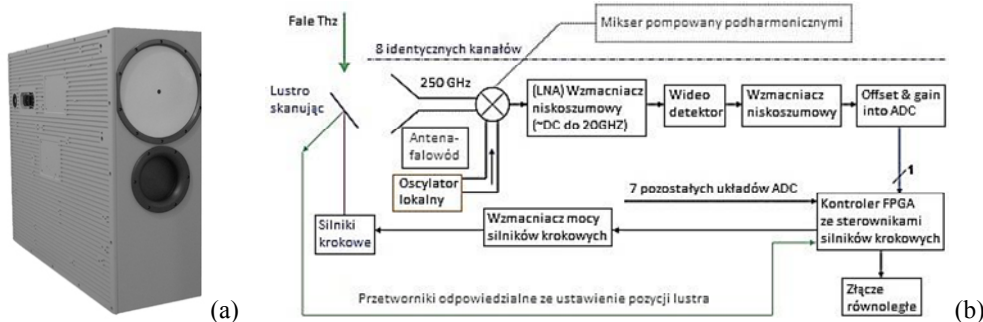
W niniejszym artykule scharakteryzowano kilka dostępnych na rynku oraz będących w stanie zaawansowanego rozwoju systemów do skanowania ludzi

by na tym tle zaprezentować opracowany w WAT system wraz z modulem przetwarzania i fuzji obrazów.

Kamery do skanowania osób

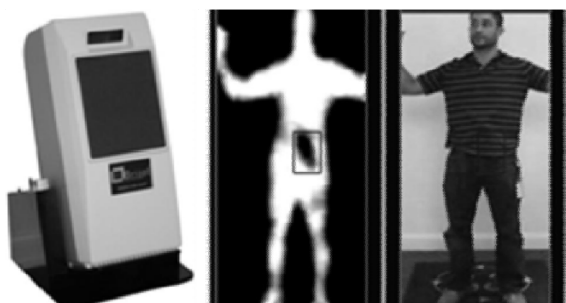
Kamery pracujące w rozpatrywanym zakresie są najczęściej urządzeniami pasywnymi i są przeznaczone do wykrycia ukrytych pod ubraniem większych bomb i broni z odległości kilku - kilkunastu metrów.

Pasywna kamera firmy ThruVision model TS4 (rys. 1) pracuje na częstotliwości 0,25 THz i detekuje promieniowanie wyemitowane przez ciało człowieka znajdujące się w jej polu widzenia. Rozdzielczość obrazu wynosi 124x271 pikseli, natomiast częstotliwość odświeżania obrazu 6 Hz [3]. Urządzenie umożliwia obserwację ludzi w ruchu w odległości od 3 do 10 metrów, z nieograniczoną głębią ostrości w wąskim zakresie kątowym. Urządzenie wyposażone jest we wbudowaną kamerę z zakresu widzialnego o rozdzielczości 600 x 500 pikseli, która daje szerszy podgląd sceny. W TS4 zastosowana została metoda heterodynowej detekcji promieniowania z lokalnym oscylatorem o mocy 5 mW a jej czułość rozumiana jako NETD (różnica temperatury równoważna szumom) wynosi około 1 K. Promieniowanie poprzez zwierciadło i antenę doprowadzane jest do miksera Schottkiego wykonanego z GaAs, gdzie następuje proces mieszania i filtrowania częstotliwości z zakresu do 20 GHz. Ten sygnał jest następnie wzmacniany i poddawany przetwarzaniu. Obraz jest syntezyzowany dzięki wykorzystaniu skanującego zwierciadła, które kierunkuje promieniowanie wejściowe na matrycę 8 detektorów (2x4). Kamera ta została wykorzystana w pracach własnych a przykładowy obraz uzyskiwany z tego urządzenia przedstawiono na rysunku 6b.



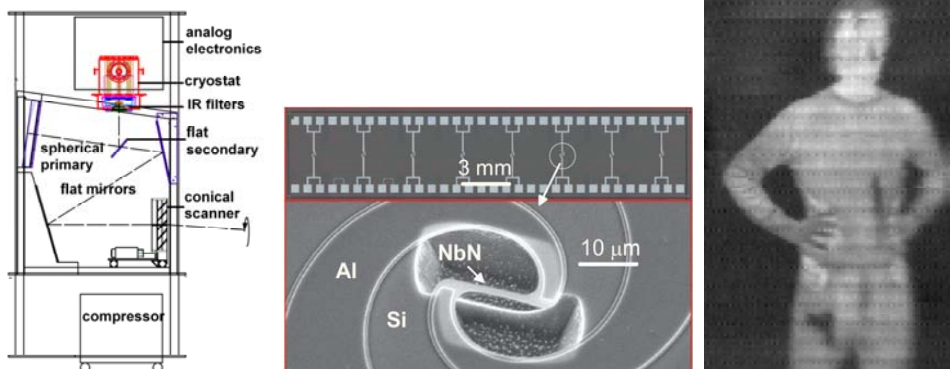
Rys.1. ThruVision TS4 – zdjęcie (a) i schemat blokowy (b) [3]

Kolejnym rozwiązaniem dostępnym komercyjnie jest urządzenie firmy Brijot nazwane GEN 2 [4] (rys. 2), które wykorzystuje linijkę odbiorników (detekcja bezpośrednia z przedwzmacniaczem na częstotliwości 94 GHz) i skanujący system optomechaniczny. Obraz jest odświeżany z szybkością od 4 do 12 klatek/sek. Rozdzielczość obrazu na odległości 3 m wynosi 6 cm x 6 cm, co ogranicza zastosowania systemu do detekcji większych przedmiotów.



Rys.2. Brijot GEN2 - zdjęcie i obraz z wykrytym przedmiotem [4]

Podobne parametry i możliwości posiadają urządzenia firm Alfa Imaging S.A. (ALFA3 [5]), QinetiQ (SPO-7R [6])



Rys.3. Pasywny skaner mikrobolometryczny, linijka mikrobolometrów i mikrobolometr oraz typowy obraz uzyskiwany z kamery mikrobolometrycznej [8]

Drugim, podobnym rozwiązaniem jest system SAFE-VISITOR z IPHT Jena [9] pracujący na częstotliwości 0,35 THz. Wysoką czułość (NETD 0,4 K) i rozdzielczość (~2 cm na odległości 8 m) przy 10 klatkach/s zapewnia chłodzona do 0,4 K 20-kanałowa matryca bolometryczna FPA. Obraz syntezowany jest z w układzie Cassegraina z ruchomym lustrem.

Ograniczona rozdzielczość geometryczna jest związana ze stosowaniem lustra (luster) skanujących tylko niewielki wycinek przestrzeni i rzutujących to promieniowanie na matrycę (linijkę) detektorów o małej ilości pikseli oraz ograniczeniem dyfrakcyjnym – 0,3 THz odpowiada fali o długości 1 mm.

czy Millivision Technologies Company (Stand-Off 350 [7]).

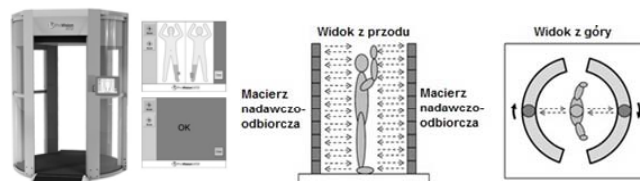
W zakresie fal powyżej 300 GHz szczególnie obiecujące wydają się być chłodzone do kilku K macierze detektorów bolometrycznych. Wysoki stopień dojrzałości technologicznej prezentuje system opracowywany w VTT Finlandia, który bazuje na wykorzystaniu pasywnej linijki 64 mikrobolometrów wykonanych z azotku niobu (NbN) i pracujących szerokopasmowo w zakresie 0,2-1 THz, z maksimum przy około 0,6 THz [8] (rys. 3). Takie detektory posiadają NETD rzędu 0,2 K i mogą pracować z częstotliwością odświeżania około 20 Hz. Obiekt jest skanowany konicznie poprzez system lusterek a promieniowanie jest doprowadzone do linijki mikrobolometrów umieszczonych w górnej części układu w specjalnej chłodziarce termoelektrycznej osiągającej 4 K. Na odległości 5 m pole widzenia wynosi 2m x 1m a rozdzielczość 15 mm przy częstotliwości odświeżania 10 klatek/s. W porównaniu z obrazami z wcześniej opisanych kamer na uwagę zasługuje bardzo dobra rozdzielczość (palce dłoni dobrze widoczne). Pewnym ograniczeniem tych rozwiązań jest ich wielkość związana z potrzebą zastosowania dużych lusterek i chłodziarek, których czas chłodzenia może wynosić kilkanaście godzin.

Portale do skanowania ludzi

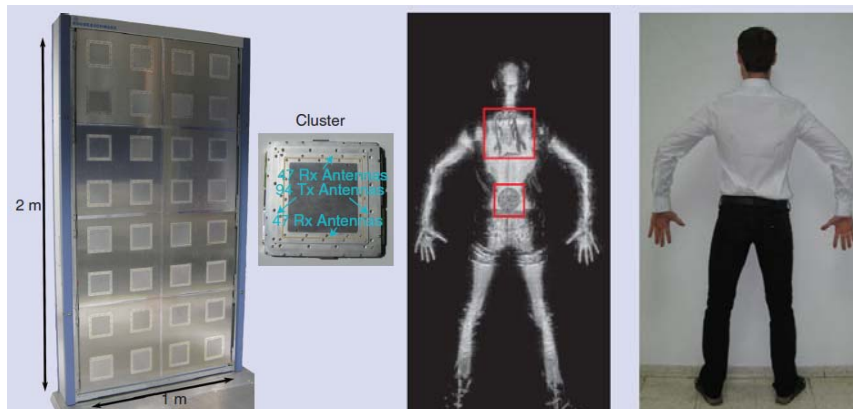
Przykładem systemów aktywnych są portale, w których skanowana osoba stoi nieruchomo i jest skanowana wiązką promieniowania, co trwa kilka sekund, ale daje dobrą jakość uzyskanych obrazów z rozdzielczością przestrzenną poniżej 1 cm pozwalającą wykrywać małe obiekty. Wadą jest oczywiście przepustowość takiego systemu, zwłaszcza w rozwiązaniach lotniskowych.

Aktywny portal ATD firmy Provision [10] (rys. 4) pracuje w zakresie częstotliwości 24-30 GHz. Człowiek znajdujący się wewnątrz portalu jest skanowany przez linijkę nadajników i odbiorników. Na podstawie odbitego od człowieka promieniowania syntezowany jest jego obraz.

W tym przypadku, nie jest pokazywany obraz człowieka, ale zarys postaci, gdzie prostokątem zaznacza się miejsce wykrytego przedmiotu. Skanowanie jednej osoby trwa około 7 sekund, co pozwala na skanowanie około 200-400 osób na godzinę. Rozdzielczość przestrzenna wynosi około 0,5 cm. Na lotniskach USA zainstalowano 500 takich urządzeń. Podobnymi parametrami i własnościami charakteryzuje się system eqo firmy Smiths Detection [11].



Rys.4. System skanowania osób - ATD firmy Provision [10]



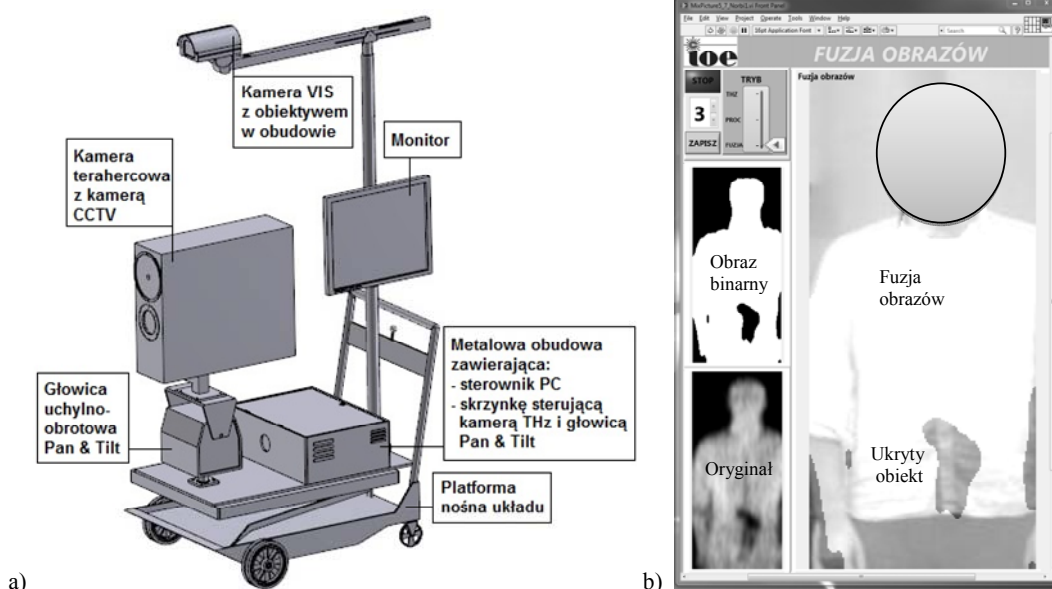
Rys.5. Rohde&Schwarz QPASS - zdjęcie urządzenia i typowe obrazy [2, 12]

Ciekawym rozwiązaniem jest również aktywny 3D skaner firmy Rohde&Schwarz (QPASS) pracujący w paśmie 72 - 80 GHz na odległości do 1 m [12]. Wykorzystuje on technikę MIMO (*Multiple-Input-Multiple-Output*) i może pracować w czasie rzeczywistym. System składa się z 3072 kanałów nadawczych i odbiorczych, co daje razem liczbę 6144 kanałów a przez to rozdzielczość 2 mm przy głębokości obrazu 15 mm.

Prace własne

Biorąc pod uwagę potencjał rozpatrywanych pasm THz i MMW do detekcji ukrytych pod ubraniem przedmiotów, w IOE WAT postanowiono opracować własny system obrazujący. W związku z faktem, iż w Polsce brak było i jest wystarczająco rozwiniętej technologii, która w perspektywie kilku lat mogłaby osiągnąć akceptowalny poziom zaawansowania, do budowy systemu wybrano kamerę TS4 opisaną w rozdziale 2.

Głównym zadaniem kamery VIS pracującej w świetle widzialnym jest wykrycie i zlokalizowanie w obszarze obserwowanej sceny poruszającego się człowieka. Koordynaty człowieka z kamery VIS sterują położeniem głowicy uchylno-obrotowej, na której zamocowano kamerę TS4, gdyż posiada ona małe pole widzenia. W przypadku jednego obiektu, system automatycznie śledzi tę osobę. W przypadku kilku osób, operator może wskazać obiekt, na którą ma nakierować się kamera TS4. Obrazy z kamery TS4 i CCTV zostają przetworzone w konsoli operatora przy pomocy opracowanego w środowisku LabView oprogramowania, które dokonuje fuzji obrazów w celu uwypuklenia ukrytych przedmiotów na tle osoby w ubraniu – obrazie z kamery CCTV. Kamery, głowica oraz sterownik PC zamontowano na stabilnej platformie nośnej o regulowanej wysokości (rys. 6).



Rys.6. Opracowany zestaw wizyjny - fotografia i interfejs operatora

Oprócz prac mechanicznych pozwalających na integrację elementów systemu i właściwy ruch obrotowy kamery TS4 (waga 20 kg), opracowano zintegrowane oprogramowanie sterująco-wizualizujące. Główne prace skupiły się na opracowaniu: oprogramowania analizującego dla kamery VIS, interfejsu do współpracy z kamerą TS4, algorytmów i oprogramowania do przetwarzania obrazów z kamery TS4 oraz algorytmów i oprogramowania do fuzji obrazów z kamer CCTV i TS4.

Pierwsze oprogramowanie wykonane w LabView współpracuje z kamerą VIS i w wybranym przez operatora obszarze pozwala: wykryć osoby, oznaczyć je cyfrą oraz czerwoną ramką. Spośród maksymalnie trzech wykrytych osób można wybrać jedną, której ruch jest następnie śledzony przez kamerę TS4. Wykorzystano algorytm detekcji obiektów oparty na różnicowym porównywaniu obrazów, z wcześniej zapisanym obrazem tła. Dodatkową możliwością pracy systemu jest tryb portal, w którym kamera TS4 najpierw skanuje przód osoby a następnie obraca się o kilkanaście stopni w prawo i w lewo i rejestruje obrazy pleców człowieka odbite od dwóch zwierciadeł metalicznych ustawionych z tyłu, po obu bokach skanowanej osoby. W trybie ręcznym operator może manualnie sterować pracą kamery TS4.

Oprogramowanie do przechwytywania obrazu z obu kamer (TS4 oraz CCTV) przygotowane zostało z wykorzystaniem dostarczonego SDK w języku C#. Do skompilowania oprogramowania wykorzystane zostało środowisko programistyczne Microsoft Visual Studio 2010, natomiast do poprawnej pracy oprogramowania do akwizycji obrazów konieczne było posiadanie pakietu Microsoft.NET Framework.

Oryginalny obraz z kamery TS4 (rys. 6b) choć zawiera unikalną informację o ukrytym pod ubraniem przedmiocie, posiada dość słabą rozdzielczość a wykryty przedmiot jest słabo widoczny. W celu poprawienia widoczności ukrytego przedmiotu zastosowano progowanie, które obraz źródłowy w odcieniach szarości przekształca na obraz binarny (rys. 6b). Metoda ta polega na porównaniu wartości każdego punktu obrazu z wyznaczoną lub zadaną wartością progu. Wartość progu powinna być wyznaczona w taki sposób, aby możliwe było wyróżnienie interesujących obiektów [13]. W trakcie badań przetestowano cztery algorytmy progowania i do dalszych badań wybrano metodę z progiem dominantowym.

Zadaniem kolejnego oprogramowania jest fuzja binarnego obrazu z kamery TS4 z wykadrowanym obrazem z kamery CCTV. W czasie prac przebadano 11 różnych technik fuzji obrazów oraz opracowano metodologię oceny jakości obrazu po fuzji [13]. Wybrana metoda fuzji obrazów polega na uśrednieniu obu obrazów z odpowiednią wagą. Po implementacji programowej w środowisku LabView, opracowana metoda fuzji obrazów bez zauważalnych opóźnień przetwarza obrazy.

Przeprowadzono wiele różnych testów opracowanego systemu. Generalnie należy podsumować, iż system bardzo dobrze wykrywa ukryte pod ubraniem większe przedmioty. Ze względu na dość słabą rozdzielczość i czułość kamery TS4, w porównaniu do kamer pracujących w świetle widzialnym czy w podczerwieni, kształt wykrytego

przedmiotu jest często różny od kształtu rzeczywistego i zależy od wielkości, odległości kamera-obiekt, ilości i rodzaju ubrań oraz położenia przedmiotu. Nie stwierdzono wpływu wilgotności atmosfery na jakość detekowanych obrazów.

Podsumowanie

Przedstawiony artykuł opisuje kamery i portale do skanowania ludzi wykorzystujące promieniowanie MMW i THz. Następnie scharakteryzowano opracowany w WAT system skanowania osób wraz z modułem przetwarzania i fuzji obrazów. Ze względu na szybki rozwój kamer MMW/THz, parametry tego urządzenia mogą być w najbliższym czasie znacznie ulepszone a całe urządzenie zminiaturyzowane. Dalsze prace przewidują dodanie do zestawu kamery termowizyjnej. Fuzja obrazów z trzech zakresów spektralnych (MMW, VIS i IR) powinna pozwolić na lepszą wizualizację ukrytego przedmiotu.

Prace wykonane w ramach projektu NCBiR nr O R00 0034 12 i projektu Europejskiej Agencji Obrony o akronimie TIPPSI.

LITERATURA

- [1] Kemp M.C., Millimetre Wave and Terahertz Technology for the Detection of Concealed Threats – A Review, *Proc. SPIE* 6402, 64020D, (2006)
- [2] Ahmed S.S., Schiessl A., Gumbmann F., Tiebout M., Methfessel S. and Schmidt L.-P., Advanced Microwave Imaging, *IEEE microwave magazine*, vol. 13, (2012), 26-43
- [3] <http://www.digitalbarriers.com/products/thruvision/thruvision-ts4/> [13.02.2014]
- [4] <http://www.microsemi.com/products/screening-solutions/gen-2> [13.02.2014]
- [5] <http://www.alfaimaging.com/products/alfa3-series> [13.02.2014]
- [6] <http://www.qinetiq.com/what/capabilities/land/Documents/SPO-7R-people-screening-security-system.pdf> [20.09.2013]
- [7] <http://www.millivision.com/stand-off-350.html> [13.02.2014]
- [8] Luukanen A., Ala-Laurinaho J., Hakli J. et al, Towards video rate imaging at submillimetre-waves – Finnish developments of passive multi-band imaging and holographic submm-wave beam steering at VTT, *Proc of Asian-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Kaohsiung, Taiwan, Dec. 4-7, 2012
- [9] Heinz E. et al., Practical instrument for terahertz security screening, *Proc. SPIE* 7670, Passive Millimeter Wave Imaging Technology XIII, (2010), 767005
- [10] <http://www.sds.i-3com.com/advancedimaging/provision-at.htm> [13.02.2014]
- [11] <http://www.smithsdetection.com/products-solutions/people-screening-systems/60-people-screening-systems/eqo.html> [13.02.2014]
- [12] Ahmed S.S., Personnel screening with advanced multistatic imaging technology, *Proc. SPIE* 8715, Passive and Active Millimeter-Wave Imaging XVI, (2013), 87150B
- [13] Kowalski M., Piszczek M., Pałka N., Szustakowski M., The methodology of THz-VIS fused images evaluation, *Photonics Letters of Poland*, vol. 5, (2013), 32-34

Autorzy: dr inż. Norbert Pałka, E-mail: npalka@wat.edu.pl, prof. dr hab. inż. Mieczysław Szustakowski, dr inż. Marek Piszczek, E-mail: mpiszczek@wat.edu.pl, mgr inż. Marcin Kowalski, mgr inż. Elżbieta Czerwińska, inż. Janusz Wróbel, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Kaliskiego 2, 00-902 Warszawa.