

# Noi senzori pentru examinarea nedistructivă și evaluarea materialelor

## New sensors for nondestructive testing and material evaluation

M. Kröning

Fraunhofer-Institute Nondestructive Testing, Saarbrücken, Germany

### Cuvinte cheie

Detector digital cu raze X, sistem de detectare cu rețea de difracție, senzori pe bază de microunde, senzori în infraroșu, senzori cu fibre piezo

### 1. Introducere

Examinarea nedistructivă este adesea efectuată pentru a evalua siguranța tehnică și fiabilitatea instalațiilor industriale, componentelor și produselor. Procesele de producție pot fi controlate prin evaluarea caracteristicilor de calitate a pieselor și componentelor utilizând metode nedistructive. Internaționalizarea piețelor și tehnologiilor solicită implementarea standardelor internaționale, care insistă pe dovada documentată a conformității. Un certificat de calitate pentru a satisface criteriile și standardele internaționale va deveni o premiză a succesului pe piață și o protecție împotriva cerințelor privind siguranța în exploatare.

În acest scop, tehnici de măsurare fizică actuale, care asigură creșterea semnificativă pentru dezvoltarea sistemelor de examinare nedistructive, sunt acum disponibile. Implicarea microelectronicii și integrarea procesorilor de înaltă performanță și noi principii ale senzorilor oferă beneficiile micro și nano tehnologiilor pentru dezvoltarea sistemelor de senzori cip, cu senzori care sunt parte a componentei micro tehnice.

### 2. Noi senzori și sisteme de senzori – detectori cu raze X

Există o tendință în lume care implică tranziția de la radiografia convențională NDT la radiografia digitală NDT, considerând cerințele digitalizării pentru o acuratețe și calitate egală sau mai bună. Puterea scăzută și timpul de expunere scurt, pentru evitarea pericolului de radiație, de exemplu, materiale sintetice, sunt beneficii suplimentare ale acestor realizări.

Detectorii și senzorii actuali sunt foarte sensibili în obținerea măsurătorilor acceptabile.

Tomografia computerizată (CT) este baza pentru aplicarea și calitatea detectorilor digitali cu raze X. Tomografia computerizată convențională (tomografia 2-D, utilizată în special în aplicații medicale) utilizează un fascicul în evantai în combinație cu un detector liniar pentru a produce imagini în secțiune transversală. Tomografia computerizată cu fascicul conic (sau tomografia computerizată 3-D) combină un fascicul conic cu detectori planari pentru obținerea de imagini tridimensionale și distribuția densității. Tehnici suplimentare

### Keywords

Digital X-ray Detector, Sampling Phased Array, Microwave Sensors, Infrared Sensors, Piezo-fiber Sensors

### 1. Introduction

Nondestructive testing is often performed to assess technical safety and reliability of industrial plants, components and products. Production processes can be controlled by evaluating the quality features of parts and components using nondestructive methods. Internationalization of markets and technologies requires the implementation of international standards, which insist on documented evidence of conformity. A certificate of quality to satisfy international criteria and standards will become a pre-requisite for success in the market and to protect against liability claims.

For this purpose, state-of-the-art physical measurement techniques that provide significant enhancements in for the development of nondestructive test systems are now available. The involvement of microelectronics and the integration of high-performance processors and new sensor principles offer the benefits of micro- and nano-technologies for the development of sensor-on-chip systems, with the sensor being part of the micro-technical component.

### 2. New sensors and sensor systems – X-ray detectors

There is a worldwide trend that involves the transition from conventional NDT radiography to digital NDT radiography, taking the digitization requirements for equal or better accuracy and quality into consideration. Low dosage and short exposure time, to avoid radiation damage to, for example, synthetic materials, are supplemental benefits of these developments.

Present day detectors and sensors are highly sensitive in order to obtain acceptable measurements.

Computed Tomography (CT) is the basis for application and quality of digital X-ray detectors. Conventional CT (2-D Tomography, particularly used in medical applications) utilizes a fan-beam in combination with a line detector to produce cross-sectional images. The cone-beam CT (or 3-D CT) combines a cone beam with planar detectors to deliver 3-dimensional images and density distribution. Additional techniques include Computed Laminography and Digital Tomosynthesis used for

sunt: stratificarea computerizată și tomosinteza digitală utilizată pentru inspecția îmbinărilor lipite, prin procedeul de lipire moale, încastrate, de exemplu rețea sferică de difracție și sisteme de schimbare a sensului.

Cererea pentru imagini mai rapide, dinamica adecvată și zgomot redus pot fi satisfăcute numai prin dezvoltarea de tehnologii cu senzori contemporani utilizând noi materiale pentru senzori, tehnici cu semnale de procesare sofisticate și ecrane electronice de afișare avansate.

Detectorul de conversie indirectă pe bază de scintilatori (prin conversia energiei razelor X în lumină vizibilă și urmărind detectarea unei cuante ușoare) și detectorul de conversie directă (conversia directă a energiei razelor X pentru a se produce perechi electroni-pozitroni) sunt utilizate în mod obișnuit.

Tehnologiile de afișare actuale utilizează traductoare cu peliculă subțire TFT (thin film transistor) TFA (pelicula subțire pe ASICs) sau camerele CCD (de amplificare cu fotodiode).

Detectorul planar convențional cu raze X (vezi figura 1) constă dintr-o peliculă scintilatoare depusă într-un detector de rețea sensibil la lumină [1, 2]. Inițial, se produce o scânteie luminoasă (în sau în apropierea lungimii de undă vizibilă) și convertită în perechi electroni-pozitroni, care sunt fie transformați în imagine foto (ca și în cazul detectorilor cu diodă de rețea) sau integrate în senzori fragmentați (ca în CCD). Conversia duală evită reducerea mai departe a mărimii pixelilor, în special pentru emisiile de spoturi luminoase nedirecționale.

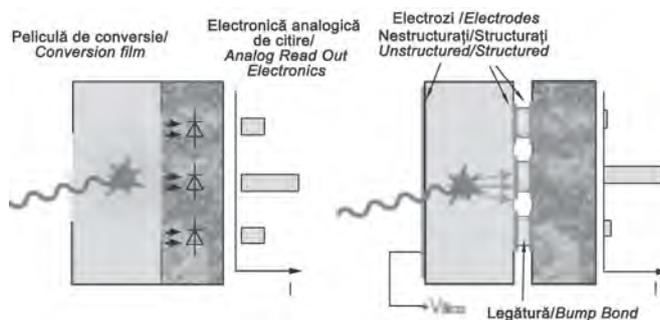


Figura 1. Detector cu scintilație (stânga) și detector cu conversie directă (dreapta)  
Figure 1. Scintillation Detector (left) and Direct-Converting Detector (right)

Acesta este motivul principal pentru a preveni conversia într-o lumină vizibilă și este de preferat să se genereze, în mod direct, perechi de electroni-pozitroni. Un avantaj suplimentar este faptul că perechile electron-pozitron pot fi reglate de un câmp electric și astfel se previne deformarea spațială a elementelor individuale. Diferite materiale semiconductoare, cum sunt Si și GaSa se utilizează în mod obișnuit ca materiale detectoare [3]. Alte materiale, de exemplu CdTe, HgI<sub>2</sub>, HgCdTe și InP sunt, în mod curent, supuse evaluării. Conduse de cerința pentru absorbția eficientă a energiei înalte a razelor X, materialele de detectare cu masa atomică mai mare sunt preferate.

Sarcina purtătoare indusă de incidența fotonului de raze X poate fi integrată analog sau contorizată cu un condensator CMOS. Opțiuni suplimentare, ca de exemplu o clasificare a energiilor fotonice prin analiza mărimii impulsului de încărcare, sunt de asemenea posibile.

Pentru detectorii integrați analog, curenții de întuneric care încarcă condensatorul de integrare cauzează reducerea dinamicii

the inspection of embedded solder joints in, for example Ball-Grid Arrays and Flip-Chips.

The demand for faster imaging, adequate dynamics and low noise can only be satisfied through the development of contemporary sensor technologies employing new sensor materials, sophisticated signal processing techniques and advanced display electronics.

The indirectly converting detector based on scintillators (through conversion of X-ray energy into visible light and following detection of light quanta) and the direct converting detector (direct conversion of X-ray energy to produce electron-hole-pairs) are commonly used.

State-of-the-Art display technologies use TFT (Thin Film Transistor) arrays, TFA (Thin Film on ASICs) or CCD (Charge-Coupled Device) cameras.

A conventional X-ray planar detector (see Figure 1) consists of a scintillator film deposited onto a laminar light-sensitive detector array [1, 2]. Initially a light-flash (in or close to, the visible wavelength) is produced and later converted into electron-hole-pairs, which are either transformed into a photo-stream (as in Diode Array detectors) or on-chip integrated (as in CCD). This dual-conversion avoids any further reduction of the pixel size, particularly for non-directional light-flash emissions.

This is the main reason to prevent the conversion into visible light and preferably generate electron-hole-pairs directly. An additional advantage is that electron-hole-pairs can be adjusted by an electric field and thus prevent the spatial distortion of individual events. Various semi-conductor materials, such as Si and GaSa are commonly used as detector materials [3]. Other materials, for example CdTe, HgI<sub>2</sub>, HgCdTe and InP are currently under evaluation. Driven by the demand for efficient absorption of high-energy X-rays, detector materials with higher atomic mass numbers are preferred.

The charge-carrier silhouette induced by the incidence of the X-ray photon can be analogously integrated or counted with a CMOS capacitor. Additional options, such as a classification by photon energies through analysis of charge pulse magnitude, are also possible.

For analog integrated detectors, the dark-currents that charge the integration-capacitor cause the reduction of the dynamics at extended measurement times. The dark-currents are primarily induced by low-energy leakage radiation. Counting detectors have an advantage in that absolutely no dark-currents are present and thus permit unlimited dynamics.

In addition, counting detectors allow for energy-selective measurements. Generating X-ray images with energy-dependent contrast establishes new opportunities for nondestructive material characterization and flaw detection.

### 3. Microwave sensors

Non-conductive or low-conductive materials are partially transparent to microwaves. Depending on the impedance difference between the medium where the sensor is located (commonly air) and the test object, microwaves are reflected at the interface or transmitted into the material of test objects. The received information allows information of certain material properties and (based on multiple reflections from the edges) geometry of the object to be obtained. These reflection and transmission coefficients primarily depend on the dielectric

la timp de măsurare mai lungi. Curenții de întineric sunt induși de scurgerea radiației cu energie scăzută. Detectorii de numărare/contorizare au avantajul că nu au curenți de întineric/ de obscuritate și astfel permit o dinamică nelimitată.

Suplimentar, detectorii de contorizare permit măsurători cu energie selectivă. Generând imagini cu raze X cu contrast funcție de energie se stabilesc noi oportunități pentru caracterizarea nedistructivă a materialelor și detectarea defectelor.

### 3. Senzori cu microunde

Materialele neconducătoare sau slab conducătoare sunt parțial transparente la microunde. Funcție de impedanță, diferența dintre mediu în care este localizat senzorul (de obicei aerul) și obiectul supus examinării, microundele sunt reflectate la interfață sau transmise în materialul obiectelor examinate.

Datele primite dau informații despre anumite proprietăți ale materialului și (pe baza reflecțiilor multiple de la margini) se obține geometria obiectului. Aceste reflecții și coeficienții de transmisie depind în primul rând de constanta dielectrică a materialului, în care proprietățile materialului cum sunt densitatea și porozitatea sunt direct corelate cu constanta dielectrică.

Conținutul informației se îmbunătățește în mod semnificativ când se utilizează senzorii vectoriali, care permit măsurarea

constantă de material, unde proprietățile materialelor precum densitatea și porozitatea sunt direct corelate cu constanta dielectrică.

Informația conținută îmbunătățește semnificativ conținutul informației atunci când senzorii vectoriali, care permit măsurarea amplitudinii și fazei, sunt utilizați. Materialele metalice reflectă în totalitate microundele și deci inspecția cu utilizarea microundelor poate fi realizată în general numai pe materiale nemetalice. Tipul antenei și distanța dintre antenă și obiectul examinat influențează toate datele privind măsurătorile și trebuie luate în considerare.

IZFP, alături de partenerii naționali și internaționali, au realizat și integrat module de senzori cu microunde pentru diferite tipuri de frecvență pentru un număr de sisteme de examinare. Modulul radar unde de frecvență modulate continuu (Frequency Modulated Continuous Waves - FMCW) se bazează pe un cip de circuit integrat monolitic milimetric (Monolithic Millimeter Wave Integrated Circuit - MMIC), care măsoară aproximativ 3mm pe 2mm [4]. Cipul a fost realizat pe bază de galiu arsenic (GaAs) și conține toate componentele electronice de înaltă frecvență necesare (vezi figura 2). Microundele de domeniul milimetrilor sunt generate la 94GHz de un oscilator controlat de

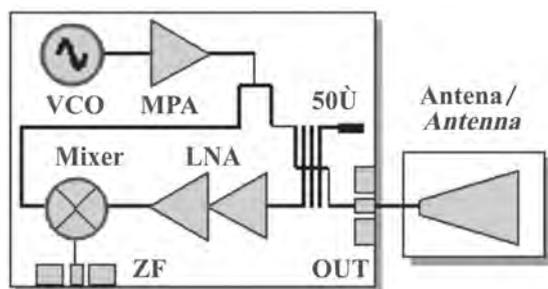


Figura 2a. Diagrama bloc a senzorului radar de 94GHz FMCW (Fraunhofer – IAF); VCO: Oscilator controlat prin tensiune), MPA: Amplificator putere principală, LNA: Amplificator zgomot redus, ZF: frecvență intermediară/

Figura 2b. Cipul radar FMCW (Fraunhofer – IAF); asamblat în pachet cu micro bandă (dreapta) Figure 2a. lock diagram of the 94GHZ FMCW radar sensor (Fraunhofer-IAF); VCO: Voltage Controlled Oscillator), MPA: Main Power Amplifier; LNA: Low Noise Amplifier; ZF: Intermediate Frequency

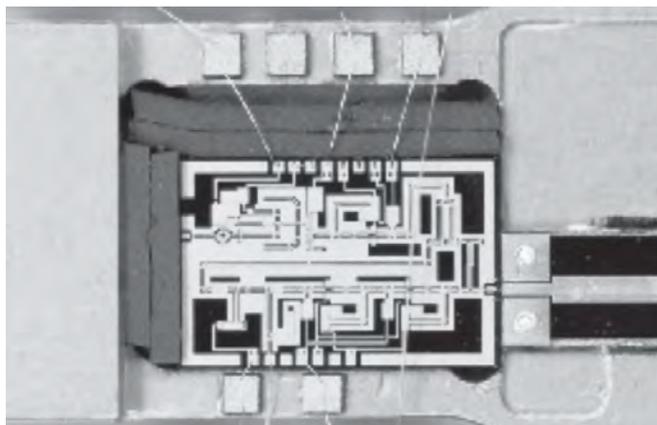


Figura 2b. Cipul radar FMCW (Fraunhofer – IAF); asamblat în pachet cu micro bandă (dreapta) Figure 2b. FMCW Radar Chip (Fraunhofer-IAF), assembled in package with micro strip (right)

semnalului amplitudinii și fazei. Materialele metalice reflectă în totalitate microundele și deci inspecția cu utilizarea microundelor poate fi realizată în general numai pe materiale nemetalice. Tipul antenei și distanța dintre antenă și obiectul examinat influențează toate datele privind măsurătorile și trebuie luate în considerare.

IZFP, alături de partenerii naționali și internaționali, au realizat și integrat module de senzori cu microunde pentru diferite tipuri de frecvență pentru un număr de sisteme de examinare. Modulul radar unde de frecvență modulate continuu (Frequency Modulated Continuous Waves - FMCW) se bazează pe un cip de circuit integrat monolitic milimetric (Monolithic Millimeter Wave Integrated Circuit – MMIC), care măsoară aproximativ 3mm pe 2mm [4]. Cipul a fost realizat pe bază de galiu arsenic (GaAs) și conține toate componentele electronice de înaltă frecvență necesare (vezi figura 2). Microundele de domeniul milimetrilor sunt generate la 94GHz de un oscilator controlat de

microwave generated by the oscillator is blended with the microwaves reflected and scattered from the test object, producing an intermediate, low frequency signal due to the temporal wobbling of the oscillator. Signal amplitude and phase gradients provide information on the characteristics of the test object (homodyne measurement principle), where a directional coupler separates the reflecting microwaves from the transmitted microwave.

For example, the FMCW radar sensor allows non-contact thickness measurements of PE-coated metal samples [5, 6]. Other microwave sensors, developed for IZFP, work at worldwide approved frequencies (ISM frequencies) of 2.45GHz and 5.8GHz and are particularly useful for the detection of humidity and moisture. Transmitting and receiving antennas are designed as patch antennas, and achieve a higher receiving sensitivity through a separated (bi-static) arrangement inside the sensor housing. All high-frequency electronic components

tensiune (VCO) și poate varia frecvența cu o lungime de bandă de frecvență de aproximativ 4GHz. Transmisia și recepția se produce monostatic utilizând aceeași antenă. Aceeași parte de microundă generată de oscilator este amestecată cu microundele reflectate și împrăștiate de obiectul examinat, producând un semnal intermediar de joasă frecvență datorită oscilării temporare a traductorului. Amplitudinea semnalului și gradientii de fază asigură informații despre caracteristicile obiectului examinat (principiul măsurătorii homodine) unde un cuplor direcțional separă microundele reflectate de microundele transmise..

De exemplu, senzorul radar FMCW permite măsurători ale grosimilor, fără contact, pe epruvete prelevate din metal acoperite cu PE [5,6]. Alți senzori cu microunde, realizați de IZFP, lucrează la frecvențe acceptate în întreaga lume (frecvențe ISM) de 2,45GHz și 5,8GHz și sunt în special folosite pentru detectarea umidității. Antenele de transmisie și recepție sunt proiectate ca antene de conectare și realizează o sensibilitate de recepție mai mare printr-un aranjament separat bi-static din interiorul carcasei senzorului. Toate componentele electronice de înaltă frecvență sunt plasate în interior. Mărimea cutiei este determinată în primul rând de dimensiunile antenelor, care stabilesc directivitatea și puterea semnalului; dimensiunile senzorului sunt 247mm lungime, 127mm lățime și 27mm grosime.

Principiul măsurării homodine este de asemenea aplicat în acest exemplu. Senzorii au fost examinați pe un set de material tip spongios cu densitate variabilă. După calibrarea inițială la distanța constantă între senzor și epruveta prelevată, amplitudinea recepționată și informația de fază permit determinarea densității materialului. Nu este posibil să se mențină distanța constantă între senzor și epruvetă, sau dacă această distanță este necunoscută (necalibrată) o tehnică de potrivire a imaginii poate fi utilizată pentru determinarea densității materialului epruvetei prelevate derivată din colectarea datelor microundelor.

#### 4. Examinarea cu ultrasunete cu utilizarea tehnicii cu traductoare matriceale de difracție

Aparatele de detectare cu **traductoare ultrasonice matriceale** își găsesc o utilizare mereu crescândă în aplicațiile medicale și tehnice. **Sampling Phased Array** este un traductor ultrasonic matriceal convențional avansat, în care elementele individuale ale traductorului sunt excitate succesiv. După fiecare ciclu de transmisie, toate elementele traductorului recepționează semnalele ultrasonice de returnare și toate semnalele recepționate sunt înregistrate și stocate. Această abordare permite măsurarea quasi-undelor conform principiului lui Huygens și utilizarea diferiților algoritmi pentru reconstrucția în timp real a topografiei epruvetei prelevate [5].

Există două moduri diferite pentru **Sampling Phased Array**: *Sistem de detectare cu traductoare matriceale de difracție - Sampling Phased Array*

- Direcționarea și focalizarea fasciculului de sunet prin dispozitivele de întârziere a recepției ale calculatorului. Semnalele ultrasonice (scanările A) pentru unghiuri de incidență arbitrară și pătrunderi focale se pot achiziționa după una sau mai multe cicluri de transmisie.
- Reconstrucția sectorului de scanare prin calculul unghiului relevant de incidență a datelor colectate

are placed inside the enclosure. The size of the enclosure is primarily determined by the dimensions of the antennae, which establish directivity and signal strength; the overall dimension of the sensor measures 247mm in length, 127mm in width and 27mm in thickness.

The homodyne measurement principle is also applied in this example. The sensors were tested on a set of foam material with varying density. After initial calibration at constant distance between the sensor and sample, received amplitude and phase information allow straightforward non-contact determination of the density of the material. If it is not possible to keep the distance between the sensor and sample constant, or if this distance is unknown (not calibrated), a pattern matching technique may be used to determine the density of the sample material derived from collected microwave data.

#### 4. Ultrasonic testing using the sampling phased array technique

Ultrasonic Phased Array search units find ever increasing use in medical and technical applications. Sampling Phased Array is an advancement of conventional Phased Array where individual transducer elements are successively excited. After each transmission cycle, all transducer elements receive the returning ultrasonic signals and all received signals are recorded and stored. This approach allows the measurement of quasi-wavelets according to Huygens's Principle and the use of various algorithms for the real-time reconstruction of a sample's topography [5].

Two different modes are available for Sampling Phased Array:

##### *Sampling Phased Array*

- Steering and focusing of the sound beam via computed receiver delays. Ultrasonic signals (A-scans) for arbitrary incidence angles and focal depths can be acquired after one or multiple transmitting cycles.
- Reconstruction of the sector scan by computation of the relevant incidence angle of the collected data

##### *SynFo Sampling Phased Array*

- Steering and focusing of the sound beam via special reconstruction algorithms (Kirchhoff Migration). Ultrasonic signals (A-scans) for arbitrary incidence angles with synthetic focusing (SynFo) for the entire near field area can be computed.
- Reconstruction of the entire sector scan without multiple transmission and/or reception, i.e. without computation of ultrasonic signals for individual incidence angles.

It has been demonstrated that ultrasonic indications originating from artificial and natural reflectors are absolutely identical regardless of the acquisition technique, either conventional or Sampling Phased Array. This confirms the time-independency of the diffraction phenomena for the propagation of ultrasonic waves in isotropic materials and further proves complete functional equivalence of conventional and Sampling Phased Array.

Overall testing sensitivity and resolution is vastly improved through the combination of Sampling Phased Array and synthetic focusing techniques (Phased Array & SAFT).

The ability of the SynFo Sampling Phased Array technique to quickly reconstruct sector scan images (complete sector image after one or a few transmission cycles) presents an

*Sistem de detectare cu traductoare matriceale sintetice orientate - SynFO Sampling Phased Array*

- Direcționarea și focalizarea fascicului de sunet prin algoritmi speciali de reconstrucție (migrația Kirchhoff). Semnale ultrasonice (scanare A) pentru unghiurile de incidență arbitrare cu focalizare sintetică (SynFo) pentru ca întreaga zonă învecinată să poată fi calculată.
- Reconstrucția sectorului de scanare fără transmisia multiplă și/sau recepție, adică fără calculul semnalelor ultrasonice pentru unghiurile de incidență individuale.

S-a demonstrat că indicatorii ultrasonici care își au originea în reflectorii artificiali și naturali sunt absolut identici fără să se țină seama de tehnica achiziției, fie convențională sau **Sampling Phased Array**. Aceasta confirmă independența față de timp a fenomenului difracției pentru propagarea undelor ultrasonice în materiale izotrope și dovedește mai departe echivalența complet funcțională a tehnicii convenționale și **Sampling Phased Array**.

Sensibilitatea și rezoluția examinării generale este mult îmbunătățită prin combinarea tehnicilor **Sampling Phases Array** și tehnicile de focalizare sintetică (Phased Array & SAFT).

Abilitatea tehnicii **SynFo Sampling Phased Array** pentru reconstruirea rapidă a imaginilor scanate pe sector ( imagine sector complet după una sau câteva cicluri de transmisie) prezintă un avantaj în comparație cu tehnica convențională cu

additional advantage compared to conventional Phased Array techniques. This also offers opportunities of sampling Phased Array for manual testing applications, e.g. permitting all incidence or skew angles to be displayed at any user-defined resolution. Using the SynFo Sampling Phased Array technique vastly improves evaluation and analysis capabilities of ultrasonic images.

Several new inspection techniques have been made available through this innovative measurement and reconstruction approach.

### Multi-Mode Inspection

When data with time-domain signals of individual transducer elements are available it is possible to account for the propagation of any wave mode and various mode conversions. Relevant sound velocity and phase correction for the re-processing of the ultrasound signals and ultrasonic images has to be applied. Reconstructed images from different wave modes can be superimposed into a single image to improve the expressiveness and reliability of the ultrasonic inspection. This can be achieved without applying higher pulse repetition rates and without decreasing data acquisition speed by simply utilizing reconstruction and image processing algorithms implemented into customized computer architecture (see Figure 3).

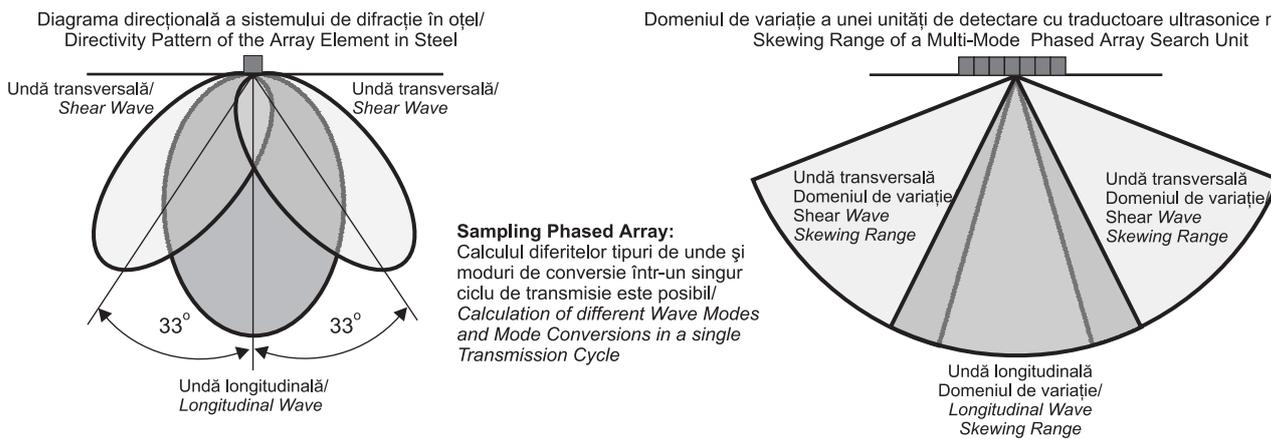


Figura 3. Inspecția multi-modală/ Figure 3. Multi-Mode Inspection

rețea de difracție. Aceasta oferă, de asemenea, oportunități de pentru aplicații manuale de examinare, de exemplu permițând dispunerea tuturor unghiurilor de incidență sau oblice la orice rezoluție definită de utilizator. Utilizând tehnica **SynFo Sampling Phased Array** se îmbunătățește foarte mult evaluarea și analiza capabilității imaginilor ultrasonice.

Au devenit disponibile noi tehnici de inspecție prin abordarea măsurătorii și a reconstrucției inovative.

### Inspecția multi-modală

Când datele privind semnalele timp –domeniu ale elementelor traductoarelor individuale sunt disponibile se poate să se justifice propagarea oricărui tip de unde și tipuri diferite de conversii. Trebuie să se aplice viteza relevantă a sunetului și a faza de conectare pentru reprocessarea semnalelor de sunet și a imaginilor ultrasonice. Imaginile reconstruite din diferitele tipuri de unde pot fi suprapuse într-o singură imagine pentru a îmbunătății expresivitatea și reproductivitatea inspecției cu

### Implementation of 3-Dimensional Sound Field Control with a Limited Number of Transducer Elements

This technique allows the generation of sound fields with significantly less effort. The use of Sampling Phased Array for 3-dimensional sound field control, and particularly for the reconstruction of 3-dimensional ultrasonic images, provides the potential for reduction of overall inspection time and improved expressiveness of ultrasonic imaging. In principle, the Sampling Phased Array technique does not require a complete matrix array; computing times are currently the decisive factor.

### Inspection of Anisotropic Materials

An interesting example for the application of Sampling Phased Array is the ultrasonic inspection of anisotropic materials. If the elastic constant of the material to be inspected is known, it is possible to apply the relevant phase-matching

ultrasunete. Acesta se poate realiza fără aplicarea unei frecvențe mai mari și fără scăderea vitezei de achiziție a datelor prin simpla utilizare a reconstrucției și algoritmilor de procesare a imaginii implementați în arhitectura specială a calculatorului (vezi figura 3).

### Implementarea sistemului tridimensional de detectare cu un număr limitat de elemente traductoare

Această tehnică permite generarea câmpurilor de sunete cu efort semnificativ mai mic. Utilizarea **Sampling Phased Array** pentru controlul câmpului de sunet tridimensional și în special pentru reconstrucția imaginilor ultrasonice tridimensionale, asigură potențialul pentru reducerea timpului total de inspecție și îmbunătățirea expresivității imaginii realizate cu ultrasunete. În principiu, tehnica **Sampling Phased Array** nu necesită un șir complet de matrici; timpul de calcul este în mod curent factorul decisiv.

### Controlul materialelor anizotropice

Un exemplu interesant pentru aplicarea **Sampling Phased Array** este inspecția cu ultrasunete a materialelor anizotropice. Dacă constanta elastică a materialului ce urmează a fi inspectat este cunoscută, este posibil să se aplice informația relevantă pentru reconstrucția datelor și procesarea imaginilor. Tehnica **SynFo Sampling Phased Array** permite reconstrucția indicațiilor care se pot evalua (defecte) în materialele anizotropice cu privire la durata de trecere al fiecărei celule individuale prin piesa de inspectat (vezi figura 4). Această tehnică asigură o perspectivă foarte promițătoare pentru controlul materialelor din fibre de carbon și alte materiale ușoare de construcție, ca cele utilizate în aviație și fabricarea automobilelor.

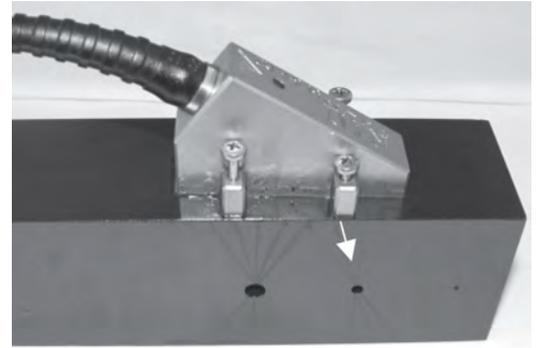
## 5. Senzori în infraroșu

Dezvoltări dinamice recente au produs noi senzori în infraroșu pentru camere de scanare cu o rezoluție a temperaturii de 150mK și având azot lichid de răcire pentru o rețea de senzori pe bază de PtSi, HgCdTe și arseniuri de galiu. Acești detectori de fotoni, care permit o rezoluție de 15mK și imagini cu mărimi de până la 640 x 512 pixeli și viteze de realizare a imaginii de peste 1000 imagini pe secundă, constituie tehnologii disponibile, cu răcire asigurată prin motoare Stirling.

Detectorii în infraroșu pe bază de surse cuantice se bucură de avantajul sistemelor electronice bidimensionale (vezi figura 5). Fraunhofer IAF în Freiburg fabrică laminate GaAs-AlGaAs și tuburi electronice de 3 inch de cantități mari. Pentru a realiza un randament cuantic ridicat este necesar să se simuleze tranziția intrasub bandă în condiții de polarizare optimă și cea mai mare eficiență posibilă de cuplare. Cipurile GaAs sunt îmbinate cu un silicon pe bază de multiplex prin utilizarea tehnicii Flip-cip. În timp randamentul cuantic este sub randamentul detectorilor HgCdTe, rezoluția la temperatură maximă de până la 5mK se realizează prin zgomot favorabil în timpi de integrare extinși.

Realizări recente ale termografiei active și dinamice, ca excitația ultrasonică sau inducția electromagnetică, se utilizează în mod curent în aplicații industriale [6]. Sensibilitatea la temperatură ridicată a senzorilor este necesară, de exemplu, pentru a asigura termografia dinamică cu rezoluție suficientă la micro fisuri numai cu contrast slab. Efecte micro-mecanice disipative, datorită variațiilor termice mici nedetectabile, pot fi

information for data reconstruction and image processing. The SynFo Sampling Phased Array technique permits the reconstruction of evaluable ultrasonic (flaw) indications in anisotropic materials with regard to the transit time of each



Unghi de incidență de 12° la r̄ 3mm SDH/  
12° incidence angle at r̄ 3mm SDH

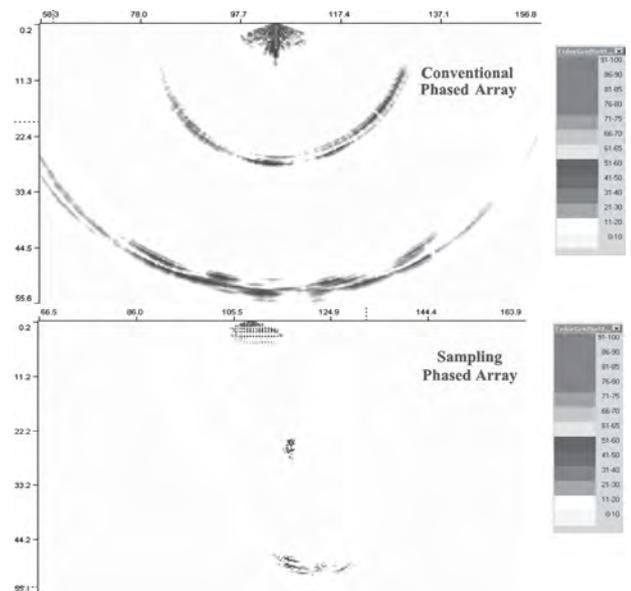


Figura 4. Inspecția Materialului cu fibre de carbon laminate cu fază inversă adaptată/  
Figure 4. Inspection of Carbon Fiber Laminate Material with Inverse Phase-Matching

individual cell in the inspection volume (see Figure 4). This technique provides a very promising outlook for inspecting carbon fiber materials and other lightweight construction materials, such as those used in aviation and automotive manufacturing.

## 5. Infrared Sensors

Recent dynamic developments have produced new infrared sensors, from scanner cameras with 150mK temperature resolution and liquid nitrogen cooling, to array sensors based on PtSi, HgCdTe and Gallium Arsenide. These photon detectors allowing for a temperature resolution of 15mK, image sizes of up to 640 x 512 pixels and imaging rates of over 1000 images per second are currently available technology, with cooling being provided by Stirling engines.

Infrared detectors based on quantum wells take advantage

acum rezolvate în domeniu de timp fără a face o medie. Exemplu: observarea mișcării benzilor de alunecare în timpul încercării la tracțiune. Evaluarea duratei de viață remanentă a pieselor și

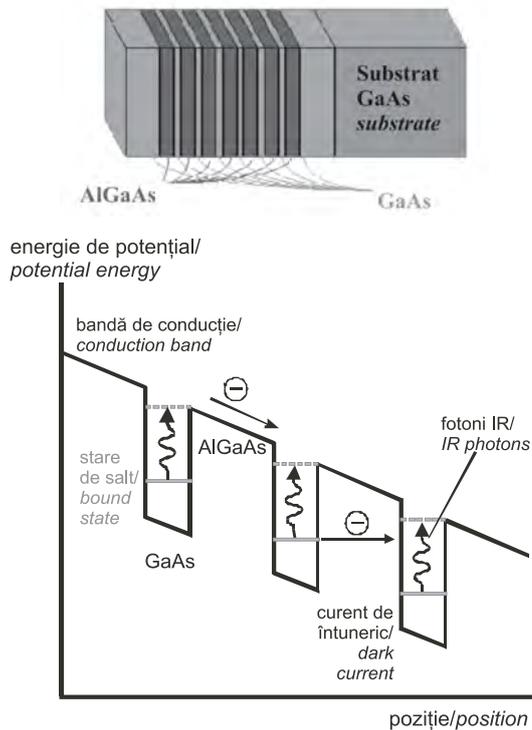


Figura 5. Schema structurii laminată a unui detector de fotoni în infraroșu cu sursă cuantică (QWIP). Structura specială, în sistem de electroni bidimensional, permite tranziția între benzile din domeniul infraroșu (sursa: Fraunhofer-IAF, Freiburg)

Figure 5. Schematic of the Laminate Structure of a Quantum Well Infrared Photon Detector (QWIP). The Custom-tailored Band Structure in the 2-Dimensional Electron System permits Intraband Transitions in the Infrared Range (Source: Fraunhofer-IAF, Freiburg)

componentelor prin analiza ultrasonică a variațiilor de temperatură sub încărcări alternante poate fi o aplicație industrială viabilă în viitor [7].

Totuși, fabricația detectorilor cuantici necesită un proces destul de elaborat și sistemele criogenice sunt, în ciuda progresului, încă scumpe și au doar o durată de viață limitată. Dezvoltări suplimentare ale senzorilor în infraroșu au deci ca scop modernizarea rețelelor de microbolometre deschise (vezi figura 6). Aceste rețele pot fi fabricate ca niște componente micro mecanice în procesele Si convenționale.

Acești senzori sunt detectori termici, în care o lamelă subțire, acoperită cu o peliculă rezistentă care absoarbe razele infraroșii, este încălzită cu o radiație incidentă. Plăci de fixare relativ lungi și un mediu vidat furnizează izolația termică adecvată și variații de temperatură suficiente pentru a schimba efectiv starea rezistorului electronic. Rezultatele electronice localizate în nivelul inferior al componentei permite citirea valorilor rezistorului. Proiectarea lamelei asigură sensibilitatea la temperatura ridicată și de asemenea un schimb de căldură constant la substrat. Mărimile imaginilor de 320 la 240 pixeli la o frecvență de 50Hz și rezoluții în domeniul 80 – 100mK sunt curent realizabile.

Suplimentar, dimensiunile mici ale elementului permit, în general, reducerea dimensiunilor senzorului și a lentilelor în

of two-dimensional electronics systems (see Figure 5). Fraunhofer IAF in Freiburg manufactures GaAs-AlGaAs laminates and 3" wafers in large volumes. To achieve a high quantum yield, it is necessary to stimulate the intrasub-band transition under optimized polarization conditions and highest possible coupling efficiency. The GaAs chips are bonded to a silicon-based multiplexer using the Flip-Chip technique. While the quantum yield is still below the yield of HgCdTe detectors, maximum temperature resolution down to 5mK is achieved through favorable noise performance at extended integration times.

Recent developments of active and dynamic Thermography, such as ultrasonic excitation or electro-magnetic induction, are currently being utilized in industrial applications [6]. High temperature sensitivity of the sensors is required, for example, to provide dynamic Thermography with sufficient resolution at micro flaws with only faint contrast. Dissipative micro-mechanical effects, due to previously undetectable small thermal tone variations, can now be resolved in the time domain without averaging. Example: Observation of slider belt movements during tensile testing. The assessment of the remaining lifetime of parts and components by the ultrasonic analysis of temperature variations under alternating loads may be a viable industrial application in the future [7].

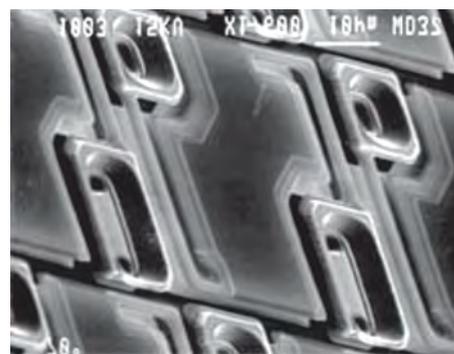
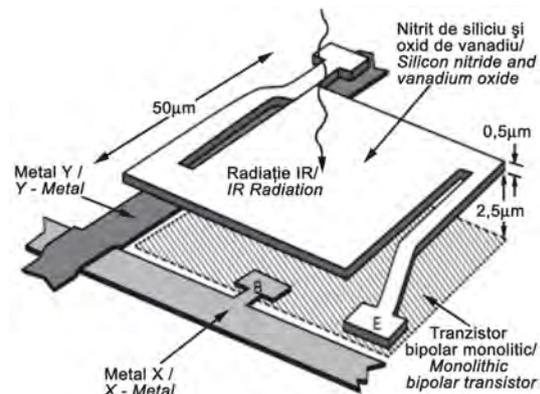


Figura 6. Schița și imaginea REM a unui element de rețea microbolometrică (sursa: Infrared Solutions Inc./ Figure 6. Sketch and REM Image of a Microbolometer Array Element (Source: Infrared Solutions, Inc.)

However, the manufacturing of quantum detectors requires a quite elaborate process and Cryo-cooler systems are, despite all progress, still expensive and have only a limited lifetime. Additional infrared sensor developments therefore target the advancement of unchilled Microbolometer arrays (see Figure 6).

infraroșu și scăderea în continuare a costurilor întregului sistem. Camere foarte compacte în infraroșu există în mod curent pe piață.

## 6. Perspective

Noi piețe sunt accesibile pentru produsele NDT, în viitor, pentru domeniul caracteristicilor de siguranță și echipament, știința vieții sistemele de tehnologii micro și nano. Experiența câștigată în aplicațiile industriale tradiționale, trebuie adaptată noilor cerințe în aceste domenii. Un exemplu tipic poate fi aplicația senzorilor radar.

## Referințe bibliografice/ Literature

- [1] N. Wermes: Pixel detectors for particle physics and imaging applications, Nucl. Instr. and Meth. in Physics Research A 512, 277-288, 2003
- [2] M. Novelli, S.R. Amendolia, M.G. Bisogni, M. Boscardin, G.F. Dalla Betta, P. Delogu, M.E. Fantacci, M. Quattrocchi, V. Rosso, A. Stefanini, L. Venturelli, S. Zucca: Semiconductor detectors for digital mammography, Nucl. Instr. and Meth. in Physics Research A 509, 283 -289, 2003
- [3] A. Owens, M. Bavdaz, A. Peacock, H. Andersson, S. Nenonen, M. Krumrey, A. Puig: High resolution X-ray spectroscopy using GaAs pixel detector, Nucl. Instr. and Meth. In Physics Research A 479, 531 -534, 2002
- [4] C. Sklarczyk, U. Netzelmann, P. Kreier, W. Gebhardt: Nondestructive and contactless determination of layer and coating thickness, Nondestructive Evaluation and Health Monitoring of Aerospace Materials, Composites, and Civil Infrastructure IV, Proc. of SPIE, Vol. 5767, Bellingham, WA, USA, 2005, p. 381 – 391
- [5] A. Boulavinov, M. Kröning, G. Nikiforenko, B. Rockstroh, W. Jager, P. Rost: Phasengesteuerte Systeme vom EMUS-Multisensoren für die Ultraschallprüfung über große Entfernungen, ZfP in Forschung, Entwicklung und Anwendung, DGZfP-Berichtsband 89-CD, Berlin, 2004, p. 5
- [6] J. Baumann, U. Netzelmann: Bauteile thermographisch prüfen – Berührungsfrei, großflächig und schnell, QZ Qualität und Zuverlässigkeit 50/9, (2005), p. 52-58

These arrays can be manufactured as micro-mechanical components in conventional Si- processes.

These sensors are thermal detectors, where a thin lamina, coated with an infrared-absorbing and resistance film, is heated by the incident radiation. Relatively long mounting brackets and a vacuum environment provide for adequate thermal isolation and sufficient temperature variations to effectively change the state of the electronic resistor. The output electronics located in the lower level of the component permit the readout of the resistor values. The mounting design of the lamina provides for high temperature sensitivity and also provides for a constant heat exchange to the substrate. Image sizes of 320 by 240 pixels at a sampling frequency of 50Hz and resolutions in the range of 80 to 100mK are currently feasible.

In addition, the small size of the element generally permits the reduction of sensor and infrared-lens size and the further decrease of overall system costs. Very compact infrared cameras are currently available on the market.

## 6. Perspective

New markets for NDT products are accessible in the future for the area of safety features and equipment, life science and micro- and nano systems technology. The experience, gained in traditional industrial applications, must be adapted to the new requirements in these areas. A typical example may be the application of radar sensors.

This progress is primarily supported by materials technology whose potential for innovation likewise provide impetus for the further development of improved nondestructive testing and inspection methods and techniques.



vizita i  
[www.isim.ro](http://www.isim.ro)

## Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale – ISIM Timișoara



### Vă oferă

Lucr rile Primului Congres IIW Sud - est european de sudare - Tehnologiile de sudare i îmbinare pentru o dezvoltare durabil i mediu, Timi oara 24-26 mai 2006, pe CD-ROM (limba englez )	100 lei
Lucr rile Conferin ei Interna ionale a ISIM, 2006- Integritatea structural a construc iilor sudate, pe CD-ROM (limba român )	30 lei
Lucr rile Conferin ei Na ionale a ISIM, 2005 - Tendin e în activitatea de cercetare-dezvoltare-inovare în domeniul sud rii, pe CD-ROM	20 lei
Atlas metalografic	40 lei
ISIM-Rezumate - Îmbinarea materialelor plastice	20 lei
ISIM-Rezumate - Materiale avansate	15 lei
ISIM-Rezumate - Pulverizare termic	15 lei
Revista BID-ISIM, 2006 (abonament)	150 lei

În cazul în care sunteți interesați de oferta noastră vă rugăm să virăți în contul ISIM nr. RO15RNCB0249049272150001, BCR Timișoara sau direct la casieria ISIM, sumele corespunzătoare. Prețurile conțin TVA și cheltuielile de expediție. Informații suplimentare la telefonul 0256-200222.