

# Spektrale Schatzsuche im NIR mit ungekühlten InGaAs-Kameras

Bob Grietens, Xenics NV, Leuven, B

**Die Nutzung des nahen Infrarot-Spektralbereichs (NIR) bis 2,5  $\mu\text{m}$  Wellenlänge ist von immenser wirtschaftlicher Bedeutung: So sorgt NIR-Technologie in Recycling-Anlagen für sortenreine Materialtrennung und damit für eine erhebliche Energieeinsparung. Bei der Nahrungsmittelherstellung ermöglicht sie die Echtzeit-Inspektion mit nachfolgender Sortierung nach reproduzierbaren Kriterien. Ein Beispiel aus der KFZ-Elektronik ist die Verbesserung der Nacht- und Nebelsicht zur präventiven Kollisionsvermeidung durch moderne Fahrerassistenzsysteme.**

Die Infrarot-Bilderfassung wird schon lange im wehrtechnischen Bereich umfassend eingesetzt. Eine breite industrielle Nutzung dagegen scheiterte bisher oft an der relativ aufwendigen Sensorkühlung. Erst die Einführung von InGaAs als Detektormaterial, das nicht unbedingt gekühlt werden muss [1], erschloss den nahen Infrarotbereich bis 1,7  $\mu\text{m}$  Wellenlänge für rentable industrielle Anwendungen. Thermoelektrisch gekühlte HgCdTe-Sensoren erweitern den Einsatzbereich bis 2,5  $\mu\text{m}$ . Für diese Technologien ist derzeit der Sprung aus den Forschungslabors in die Anwendungsfelder zu beobachten.

Ziel von XenICs (klingt wie das flämische „k zie niks“ – „Ich sehe nichts“) ist die Bereitstellung preisgünstiger Komponenten und Produkte ohne aufwendige Zwangskühlung für die Infrarot-Bilderfassung und -Spektroskopie. Damit lässt sich



**Bild 2:** Digitale NIR-Kamera (0,85 bis 2,5  $\mu\text{m}$ ) mit thermoelektrisch gekühltem Focal Plane Array (320 x 256 Bildpunkte)

im Bereich kostensensitiver Anwendungen wirtschaftlicher Nutzen generieren.

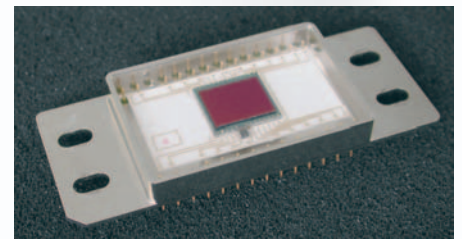
Wie die Realisierung eines solchen Konzeptes aussehen kann, wird im folgenden anhand der Fertigungstechnik und verschiedener Anwendungsbeispiele demonstriert. Zu den wichtigsten Kriterien wirtschaftlich erfolgreicher NIR-Sensoren gehören dabei

- keine oder lediglich TE-Kühlung
- niedrige Betriebskosten
- geringe Abmessungen
- hohe Empfindlichkeit
- gute kommerzielle Verfügbarkeit und
- kostengünstige Fertigung.

## 1 Fertigung der NIR-Bildaufnehmer

Je enger sich die Herstellung von NIR-Sensoren an standardmäßigen Si-Halbleiterfertigungsprozessen orientiert, desto kostengünstiger lässt sie sich realisieren. Dies trifft insbesondere auf InGaAs-Sensoren zu, die mit hoher Ausbeute auf Wafern mit bis zu 4 Zoll Durchmesser gefertigt werden: Dünne InGaAs-Schichten werden mittels metall-organischer Gasphasenepitaxie (MOCVD) auf Substrate mit passender Kristallgitterkonstante aufgebracht, wie etwa InP. Mittels optischer Lithographie und chemischer Prozesse werden dann Öffnungen zur Ausbildung der Pixel-Elektroden in die isolierende Glasschicht geätzt.

Im Anschluss an einen proprietären Fertigungsprozess werden die Chips getrennt, einem Funktionstest unterzogen und die Pixel mit der Ausleseschaltung verbunden [2]. An dieser Stelle stehen die Entwickler von InGaAs-Flächensensoren vor einem ähnlichen Dilemma wie die Gestalter von



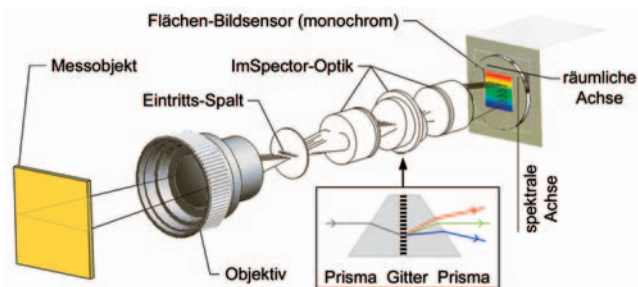
**Bild 1:** DSCN1945-NIR-Chip (Gehäuse offen)

CCD-Bildaufnehmern: Beide Techniken sind nicht besonders gut für die Realisierung analoger und digitaler Auswerte- und Logikschaltungen geeignet. Während das serielle Auslesen („Eimerkettenprinzip“) bei CCD-Sensoren für die Minimierung der externen Bildsignalanschlüsse sorgt, erfolgt bei den InGaAs-Sensoren von XenICs eine vielpolige Flip-Chip-Verbindung des Sensor-Arrays mit der Ausleseschaltung (**Bild 1**). Da Sensor und Auswerteschaltung somit direkt aufeinander sitzen, ergibt sich eine besonders kleine Fläche, die sich vorteilhaft für die Gestaltung kompakter Kameras nutzen lässt. Zum Schutz wird diese Kombination noch in ein flaches Gehäuse mit NIR-durchlässigem Glasfenster eingebaut. Diese Baugruppe wird dann mit Objektiv, Verbindungselementen, Software und optionalen thermoelektrischen Kühlern (TE) zu einem Kamerasystem integriert. **Bild 2** zeigt die neue NIR-Kamera XEVA-CL-FPA-2.5-320-TE4 mit Standardobjektiv, an dessen Stelle auch ein Spektrometer angeflanscht werden kann.

## 2 Anwendungsbeispiele

### 2.1 Fahrerassistenz durch Nachtsicht

Eine der wichtigsten Anwendungen von Kameras mit breitem Spektralbereich bis ins nahe Infrarot dürften in Zukunft Fahrerassistenzsysteme für Land- und Luftfahrzeuge sein. Vor dem Hintergrund, dass sich im Straßenverkehr etwa die Hälfte der schweren Unfälle in der Nacht ereignen, obwohl weniger Fahrzeuge als tagsüber unterwegs sind, können Nachtsichtgeräte im NIR-Bereich den Fahrer und seine intel-



**Bild 3:** Prinzip der Spektalkamera: Kombination aus bildgebendem Spektrographen (ImSpector) und Matrix-Kamera für industrielle und wissenschaftliche Anwendungen (Bild Spectral Imaging)

## 3 Ausblick

InGaAs muss als Detektormaterial für die Infrarot-Bildaufnahme nur leicht oder gar nicht gekühlt werden. Dennoch liefert es rauscharme Ausgangssignale mit niedrigem Dunkelstrom, so dass sich damit einfach anwendbare NIR-Sensorarrays entwickeln lassen. Durch ihre Fertigung in Standardprozessen auf kostengünstigen großen Substraten sowie Flip-Chip-Integration der Auswerteschaltungen besteht die Chance, Kameras kompakter, billiger und zuverlässiger aufzubauen, was ihnen neue Anwendungsgebiete erschließt, die bisher aus Kostengründen nicht für die NIR-Bilderfassung zugänglich waren.



**Bild 5:** Wertstoff-Anlieferung, Vereinzelung und Klassifizierung durch NIR- und visuelle Technologien mit der SIS-Oberfläche des Spectrosort von Carinthian Tech Research (Bild CTR)

## Literaturhinweise:

- [1] B. Grietens, R. Vandersmissen, J. Bentell, *Ungekühlte InGaAs-Arrays für kompakte Hochgeschwindigkeits-Kameras im nahen Infrarot*, Photonik 5/2005, 76-78
- [2] J. John et al., *Indium solder bump technology for ultra high density interconnects in hybrid image sensors*, Proc. 15<sup>th</sup> European Microelectronics and Packaging Conference – IMAPS/EMPC, June 12-15, 2005, Brugge, Belgium, p. 334-337 ([www.imec.be](http://www.imec.be))
- [3] R. Bhargava, I. Levin (Eds.), *Spectrochemical analysis using infrared multichannel detectors*, Blackwell Publishing Ltd, 2005
- [4] NIR-Spektalkameras von SpecIm: [www.specim.fi](http://www.specim.fi)
- [5] Spektrale Bildverarbeitung von Carinthian Tech Research: [www.ctr.at](http://www.ctr.at)
- [6] Sortieren mit opt. Sensorik: [www.ava-augsburg.de](http://www.ava-augsburg.de)

## Ansprechpartner:

Bob Grietens  
CEO  
XenICs NV  
Ambachtenlaan 44  
3001 Leuven, Belgien  
Tel. +32/16/389900  
Fax +32/16/389901  
eMail: [bob.grietens@xenics.com](mailto:bob.grietens@xenics.com)  
Internet: [www.xenics.com](http://www.xenics.com)



ligeren Sicherheitssysteme wirkungsvoll unterstützen. Ansonsten im Dunkeln kaum sichtbare Hindernisse lassen sich damit zur Auslösung eines Warnsignals nutzen oder auf die Windschutzscheibe projizieren, was die Wahrnehmung des Fahrers schärft und ihm einen sicheren Weg weist.

## 2.2 Ortsaufgelöste Spektralanalyse

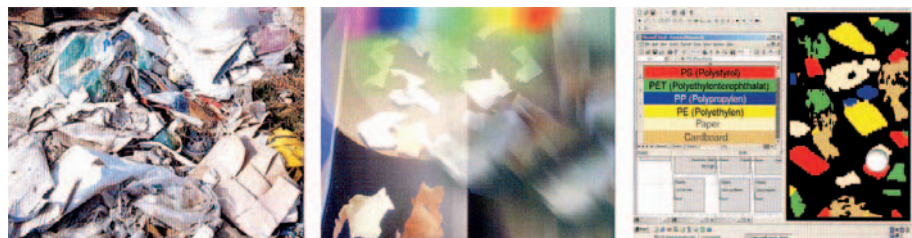
Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet von NIR-Bildsensoren sind Spektalkameras für die Direktsicht-Technologie des finnischen Herstellers Specim, deren Arbeitsweise in **Bild 3** dargestellt ist: Die Integration von Spektrograph und monochromer Matrix-Kamera funktioniert im Prinzip wie eine Zeilenkamera mit Auffächerung des Spektrums. Für jedes Pixel einer Bildzeile wird das Spektrum erzeugt und in einer senkrechten Spalte des Sensor-Arrays als Intensitätsmuster erfasst. Die Waagerechte bleibt dabei als Geometrieachse erhalten. Durch eine Relativbewegung von Objekt und Kamera lässt sich ein zweidimensionales Spektralbild gewinnen, aus dem anhand der spektralen Intensitätsverteilung bestimmte Merkmale gewonnen werden. Diese spektralen „Fingerabdrücke“ dienen dann zur Klassifizierung oder Prozesssteuerung. Anders als beim Einsatz von Spektrometern liefert diese Methode auch Bildinformationen, was als ortsaufgelöste Spektralanalyse bezeichnet wird.

## 2.3 Sortenreines Recycling

Zu den typischen Anwendungen von Spektalkameras gehören Messungen der Feuchteverteilung, Analysen von Ölfilmen oder Lackschichten, Sortierung von Obst

und Gemüse nach Farbe und Reifezustand, der sich im NIR-Bereich besonders deutlich zeigt, sowie die Trennung von Wertstoffen, z.B. das Aussortieren typischer polymerer Verpackungen nach Vorgaben des DSD (Duales System Deutschland, „Grüner Punkt“). Systeme zur spektralen Bildverarbeitung, die derartige Leistungen erbringen, bestehen prinzipiell aus einer oder mehreren Spektalkameras, einer spektral angepassten Beleuchtung, einem Transportsystem und Online-Verarbeitungsalgorithmen.

Speziell für die optische Abfalltrennung wurde das System Spectrosort entwickelt, dessen Einsatzgebiet von Altpapier über Kunststoffe (DSD) bis zu Industrieabfällen und Brennstoffen reicht. Eine derartige Anlage wird z.B. von der Abfallverwertung in Augsburg betrieben (**Bild 4**). Ein Beschleunigungsband fördert das Sortiergut gleichmäßig und vereinzelt mit hoher Geschwindigkeit durch die Messzone, einen Dunkelraum mit Messsystemen im sichtbaren und NIR-Bereich. Da das längerwellige Licht tiefer ins Material eindringt, sind die Messungen nur in geringem Maße von Schmutz, Aufdrucken und anderen Oberflächeneffekten anhängig. Leistungsfähige Rechner analysieren die Objekte sehr schnell und steuern zeitlich präzise sogenannte Ausblasdüsen zur Materialtrennung am Ende des Bandes. Das Kernstück der spektralen Bildverarbeitung bildet dabei die von der österreichischen CTR (Carinthian Tech Research) entwickelte Software Spectral Imaging Suite. **Bild 5** verdeutlicht den Weg von der Wertstoff-Anlieferung über die Vereinzelung bis hin zur Klassifizierung.



**Bild 4:** Eine Sortieranlage der Abfallverwertung Augsburg schafft mit ihrem NIR-optischem System 25 000 Tonnen DSD-Sortierung pro Jahr (Grüner Punkt) bzw. 50 000 Tonnen Papier pro Jahr im Zweischichtbetrieb (Bild AVA Re.Sort)