

Nachtsichtkamera fusioniert Restlicht- und Wärmebilder

Raf Vandersmissen, XenICs NV, Leuven, Belgien

Auch in mondloser, aber sternklarer Nacht liefern hochempfindliche InGaAs-Kameras für das kurzwellige Infrarot noch gute Aufnahmen. Durch Verdünnung des Bildaufnehmer-Chips und Belichtung durch das Substrat hindurch kann der Wellenlängenbereich der Detektoren bis in das sichtbare Spektrum ausgedehnt werden und umfasst dann 400 bis 1700 nm. Zusammen mit ungekühlten Mikrobolometer-Arrays für den langwelligen Infrarot-Bereich lassen sich damit universelle Analysewerkzeuge aufbauen, die eine Fusion optischer und thermischer Abbildungen vorteilhaft nutzen können.

Die Bilderfassung im Infraroten (IR imaging) wird bereits in vielen technisch-wissenschaftlichen Bereichen erfolgreich eingesetzt. Ihre Entwicklungstrends gehen, wie bei anderen Bildaufnahmetechniken auch, in Richtung stärkerer Auflösung, gesteigerter Empfindlichkeit und höherer Geschwindigkeit.

Dazu kommt die multispektrale Erfassung über mehrere IR-Spektralbereiche (**Bild 1**). Diese beginnen beim kurzwelligen Infrarot SWIR (short wavelength infrared), das mit seiner Wellenlänge zwischen 0,9 und 1,7 μm direkt an das sichtbare Spektrum VIS (visible) anschließt und deshalb auch als NIR (near infrared) bezeichnet wird. Es folgt der mittlere Infrarotbereich (mid wavelength infrared, MWIR), der sich von 3 bis 5 μm erstreckt. Außerdem gewinnt der langwellige IR-Bereich LWIR (long wavelength infrared) von etwa 8 bis 14 μm für diverse Analysen an Bedeutung.

Neben den verbesserten Leistungsmerkmalen der IR-Bildaufnehmer sorgt ihre Fertigung mit industriellen Prozessen auf Standard-Fertigungslinien für eine stetige Verbilligung, die der IR-Flächensensortechnik weitere, auch umsatzstarke Einsatzfelder erschließen dürfte.

Die Nacht zum Tage machen

Vor allem die hohe Empfindlichkeit und Dynamik von SWIR-Bildaufnehmern in InGaAs-Technologie prädestiniert sie für den Einsatz in Restlicht-Kameras. Diese werden überall dort eingesetzt, wo zu geringe Beleuchtung die Verwendung normaler Kameras unmöglich macht. Beobachtungen in der Dämmerung oder nachts, z.B.

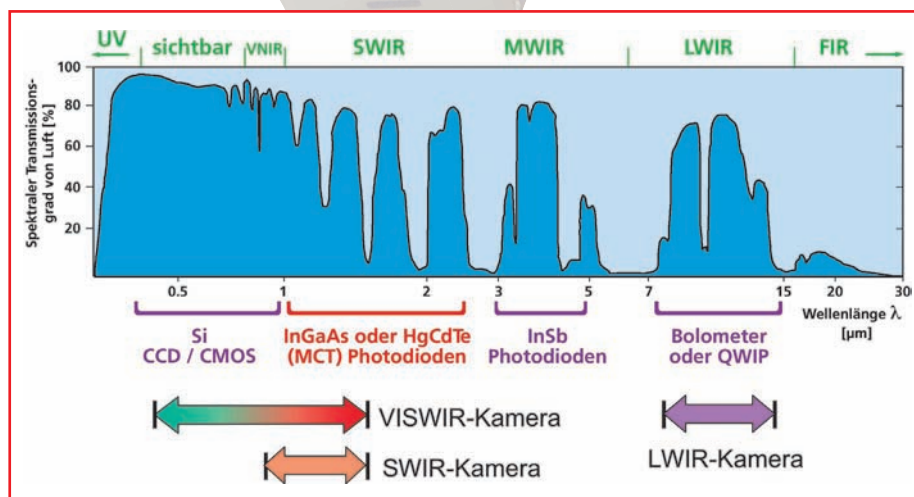


Bild 1: Neue Infrarot-Kameratypen und deren Kombinationen erobern breitere Spektralbereiche, deren Einteilung sich aus den Wasserdampf-Absorptionsbanden in der Atmosphäre ergibt

Überwachung von Flugplätzen, Gebäuden oder Geländeabschnitten (Objektschutz), wissenschaftliche Anwendungen in der Astronomie, Meteorologie, Tierbeobachtung, Verhaltensforschung, auch diverse militärische Anwendungsbereiche sowie verdeckte Observationen, sind das Einsatzgebiet dieses Kameratyps.

Dazu kann bei fehlendem Tageslicht das Phänomen des Nachthimmelsleuchtens (airglow) ausgenutzt werden. Airglow entsteht als schwache Lumineszenz in der oberen Erdatmosphäre durch selektive Absorption des UV- und Röntgenspektrums des Sonnenlichts in Luftmolekülen und -atomen. Der größte Anteil des Himmelsleuchtens entstammt den Luftschich-

ten in 70 bis 300 km Höhe. Bedeutsam ist hierbei insbesondere die in der Ionosphäre stattfindende photochemische Dissoziation von Sauerstoffmolekülen in je zwei Sauerstoffatome bei Tageslicht, die dann später – teilweise erst nachts – strahlend zu O_2 rekombinieren. **Bild 2** zeigt das aus dem Weltraum auch bei Tage sichtbare Leuchten. Nachts ist die Helligkeit dieses atmosphärischen Restlichts um das Fünf- bis Siebenfache größer als die des Sternenlichts. Es erstreckt sich nahezu vollständig über den SWIR-Bereich von 1,0 bis 1,7 μm . SWIR-Kameras in InGaAs-Technologie sind mit ihrer größten Empfindlichkeit zwischen 0,9 und 1,7 μm perfekt zur Nutzung des Airglow-Phänomens geeignet. Sie „sehen“



Bild 2: Airglow als dünne blaue Linie über dem Erdhorizont, aufgenommen in Falschfarben während der Clementine-Mission 1994 [1]. Die hellen Flecken auf der Erdoberfläche sind beleuchtete städtische Regionen (Bild: Naval Research Laboratory)



Bild 3: Airglow-Beleuchtung genügte für diese Aufnahme in mondloser, sternklarer Nacht mit empfindlicher SWIR-Kamera

auch in mondlosen Nächten Objekte mit großer Klarheit (**Bild 3**). Von Vorteil ist dabei, dass das Nachtleuchten vom gesamten Himmel in allen geografischen Breiten gleichmäßig emittiert wird.

Die Bildaufnahme im SWIR geschieht ähnlich wie im sichtbaren Wellenlängenbereich, denn sie nutzt das vom Objekt reflektierte Licht. Gegenüber rein thermischer Detektion wird so die Interpretation und Analyse von Szenen erleichtert. Als Resultat des reflektiven Prinzips zeigen Bilder von SWIR-Kameras auf InGaAs-Basis auch Schatten und Kontrast, und sie sind mit gewohnten Bildern unter sichtbarem Licht in Auflösung und Detailwiedergabe vergleichbar. Damit sind Objekte im Himmelsleuchten relativ gut zu erkennen.

Von besonderem Vorteil bei SWIR InGaAs-Kameras ist die Abbildung durch herkömmliches Glas. Einfache Glasoptiken ersetzen also Linsen und Objektive aus kostspieligem Spezialmaterial wie z.B. Germanium, Silizium oder Zink-Selenid. Außerdem benötigen derartige Kameras,

anders als thermische IR-Kameras oder SWIR-Kameras mit InSb- oder HgCdTe-Detektor-Arrays, weder einen Objektivverschluss, noch eine teure Cryo-Kühlung des Arrays. Ohne diese Komponenten steigt die Zuverlässigkeit, sinken Kosten, Baugröße und Gewicht, und die Kameras sind weniger empfindlich gegenüber Vibrationen. Für Nachtsichtapplikationen können SWIR InGaAs-Kameras mit thermoelektrisch gekühlten Flächen-Sensoren arbeiten, oder sogar ganz ohne Kühlung auskommen [2]. Der zunehmende und vielfältige Einsatz in Sicherheitsanwendungen dokumentiert die rapiden Fortschritte der SWIR-Technologie – mit immer höheren Leistungen in immer kleineren Gehäusen.

Dünnere Chips erweitern das Spektrum

Der Aufbau eines bisherigen SWIR-Bildaufnehmers in InGaAs-Technologie ist im **Bild 4** links dargestellt: Auf einem etwa 125 µm starken InP-Epiwafer-Substrat wer-

den die Infrarot-Photodioden erzeugt. Da sich diese Technologie nicht besonders gut für die Realisierung von Ausleseschaltungen eignet, montiert man das Photodioden-Array kopfüber (Flip-Chip) auf einen CMOS-Chip auf Silizium-Basis, der die Ausleseelektronik trägt (read out integrated circuit, ROIC). Dabei stellen Indium-Kügelchen (Bumps) den elektrischen Kontakt her [3]. Die Belichtung erfolgt dann durch das InP-Substrat, das allerdings alles Licht im sichtbaren Bereich und bis 0,9 µm absorbiert.

Jetzt gibt es aber eine ganze Reihe von Anwendungen, für die es wünschenswert oder notwendig ist, neben dem kurzwelligeren Infrarot (SWIR) auch das sichtbare Spektrum (VIS) mit einem einzigen "VISWIR"-Sensor zu erfassen. Typisches Beispiel sind gekoppelte Landehilfen im Flugbetrieb, die aus einem Sensor für langwelliges Infrarot (LWIR im Bereich von 8 bis 14 µm) für Wärmestrahlung und einem Detektor in InGaAs-Technologie für kurzwelliges Infrarot bestehen, der seinerseits die Glühlampenstrahlung der Landelichter im Bereich zwischen 0,9 und 1,7 µm gut erfasst. Allerdings wird zur Steigerung von Sicherheit und Zuverlässigkeit diese Art der Landelichter immer mehr durch stromsparende Lichtquellen mit Leuchtdioden (LEDs) ersetzt, die vorwiegend im sichtbaren Spektrum und kaum im nahen Infrarot strahlen. Daher ist es sinnvoll, den Empfindlichkeitsbereich von SWIR-Sensoren in den sichtbaren Bereich auszudehnen.

Da hier die starke Absorption sichtbaren und nahinfraroten (bis 0,9 µm) Lichts durch das Substrat stört, wird dieses stark gedünnt: Zum sicheren Abtragen des

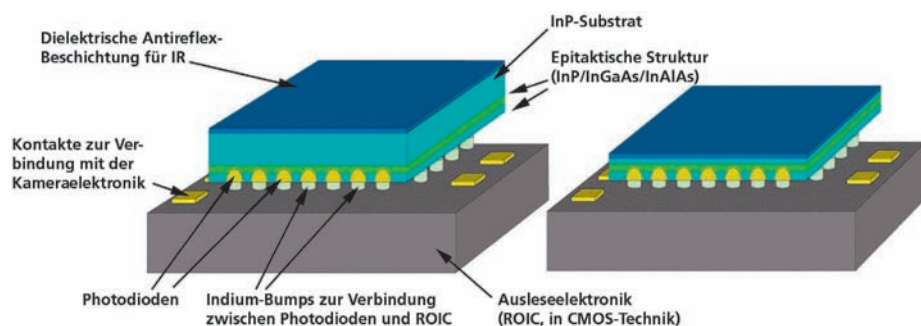


Bild 4: Durch Verdünnung des Substrats entsteht aus einem InGaAs-SWIR-Kamera-Chip (links) ein breitbandiger VISWIR-Bildaufnehmer (rechts)

Substrats ohne Beschädigung des InGaAs-Detektors werden daher knapp unterhalb der Photodioden zusätzliche Schichten aus InGaAsP eingebracht, die in der InP-Umgebung als Ätzstop wirken. Eine nachfolgende Ätzung mit Salzsäure (HCl) entfernt das InP-Epi-Substrat selektiv und genau bis zur InGaAsP Ätzstop-Schicht. Dies verdünnt den Sensor-Chip von 125 µm auf nur 5 µm (Bild 4 rechts). Damit wird es für sichtbares Licht transparent [4], so dass der Sensor den breiten Wellenlängenbereich von 0,4 bis 1,7 µm empfangen kann (Bild 5). Die Montage des InGaAs-Sensors für den VISWIR-Bereich erfolgt auf der CMOS-Ausleseschaltung in bewährter Weise durch Flip-Chip-Bonder, und zwar vor der Ätzung.

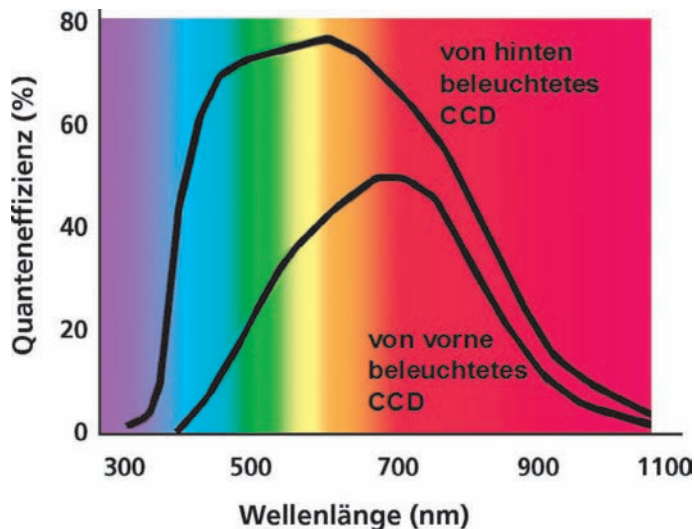


Bild 5: Schon seit CCD-Zeiten bewährt: ein verdünnter und von hinten beleuchteter Sensor-Chip erfasst ein breiteres Spektrum

Spektral kombinierte Detektion

Für Nachtsichtanwendungen wird die SWIR-Bilderfassung mit InGaAs-Technologie sinnvoll ergänzt durch Wärmebildkameras für mittlere und längere Wellenlängen (MWIR und LWIR) in Gestalt ungekühlter Mikrobolometer oder gekühlter Infrarotkameras. Deren thermische Detektoren zeigen nur die Anwesenheit warmer Objekte vor kühlerem Hintergrund (Bild 6). In Kombination mit Wärmebildern vereinfachen SWIR-Kameras somit die Identifizierung von Objekten, die im Wärmebild allein schwieriger zu erkennen sind.

Die Sensorelemente von Mikrobolometer-Kameras für LWIR werden aus IR-absorbierenden Leitern oder Halbleitern aufgebaut, deren strahlungsabhängiger Widerstand gemessen wird. Da sich auch Polysilizium als Absorber eignet, lassen sie sich als MEMS aus Polysilizium herausarbeiten [5] und mit Auswerteschaltungen in CMOS-Technologie kombinieren.

Echtzeitbilder aus den beiden Spektralbändern können dann digital verarbeitet und – noch wichtiger – auch überlagert werden. Die systemische Fusion von SWIR und LWIR ermöglicht so die Auswahl der für eine bestimmte Anwendungssituation bestgeeigneten Darstellung. LWIR bewährt sich allgemein bei der Ent-

deckung von Personen oder Fahrzeugen aufgrund deren Wärme-Emission. SWIR-Bilder bieten zusätzliche Vorteile, wenn die visuelle Erkennung, etwa bei verdeckten Ermittlungen, eine Rolle spielt.

Vielfältige Anwendungen

Mit ihren erweiterten optischen Eigenschaften eröffnen so aufgebaute Kameras eine Vielzahl industrieller und sicherheitsrelevanter Anwendungsmöglichkeiten, wie hyperspektrale Bilderfassung, Laserstrahl-Profilometrie, Nachtsichtverstärkung im Straßen- und Luftverkehr, Chip-Inspektion in der Halbleiterfertigung, Wärmebilderfassung im Temperaturbereich von 200 bis 800°C, Online-Prozesssteuerung und Medizinelektronik.

Mit besonderen, wassergekühlten Ausführungen kann bei Mikroskop-Anwendungen der Einfluss von Vibrationen des



Bild 6: Die thermische Abbildung einer ungekühlten Mikrobolometer-Kamera kann VISWIR-Bilder um selbststrahlende Objekte vorteilhaft ergänzen

Kühlungsventilators reduziert werden, und auch der Einsatz in staubigen Umgebungen wird erleichtert.

Weitere typische Einsatzbereiche sind EVS-Landesysteme, die Sicherung von Gebäuden, öffentlichen Plätzen oder Behörden, die Überwachung industrieller Objekte, etwa Fabrikanlagen oder Kraftwerke, Grenzkontrollen sowie spezielle Aufklärungs- und Rettungseinsätze. VISWIR-InGaAs-Kameras bieten außerdem konzeptionelle Anregungen für Nachtsichthilfen in Automobilen. Als relativ neue Anwendung haben IR-Systeme großes Potential in der Sicherheit von Überland-Transportflotten, oder in Fähren und Yachten. In der Entstehung

begriffen sind Anwendungen für aufkommensabhängige Verkehrsleitsysteme. Industrielle Einsatzbereiche liegen in Forschung und Entwicklung, in der Echtzeit-Überwachung von Hochtemperatur-Fertigungsprozessen oder z.B. in der Wartung von Flugzeugen hinsichtlich der Leistung elektrischer, hydraulischer und pneumatischer Systeme, etwa bei der Inspektion von Turbinen.

Literaturhinweise:

- [1] www.cmf.nrl.navy.mil/clementine
- [2] B. Grietens, R. Vandersmissen, J. Bentell, *Ungekühlte InGaAs-Arrays für kompakte Hochgeschwindigkeits-Kameras im nahen Infrarot*, Photonik 5/2005, S. 76-78
- [3] J. John, L. Zimmermann, P. Merken, G. Borghs, C.A. Van Hoof, S. Nemeth, *Extended backside-illuminated InGaAs on GaAs IR detectors*, Proc. SPIE Vol. 4820, p. 453-459, 2003
- [4] D. Göhring, *Digitalkameratechnologien*, Technische Informatik, Humboldt-Universität Berlin, 2002
- [5] V.N. Leonov, N.A. Perova, P. De Moor, B. Du Bois, C. Goessens, B. Grietens, A. Verbist, C.A. Van Hoof, J.P. Vermeiren, *Micromachined poly-SiGe bolometer arrays for infrared imaging and spectroscopy*, Proc. SPIE Vol. 4945, p. 54-63, 2003

Ansprechpartner:

Raf Vandersmissen
Technical Sales Engineer
XenICs NV
Ambachtenlaan 44
3001 Leuven
Belgien
Tel. +32/16/3899-00
Fax +32/16/3899-01
eMail: rvn@xenics.be
Internet: www.xenics.be



(fotografiert mit einer XEVA640)