

Wärmebildaufnahme mit starrenden Infrarotdetektor-Matrizen

Max Schulz*, Peter Pohl**

*Institut für Angewandte Physik, Universität Erlangen-Nürnberg

**Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung, ZAE Bayern, Erlangen

<mailto:max.schulz@physik.uni-erlangen.de>

In starrenden Wärmebildkameras mit zwei-dimensionalen Detektormatrizen wird das feste Inhomogenitätsmuster der Detektoren mit schnellen Prozessoren rechnerisch in Echtzeit eliminiert, so dass kleine Temperaturkontraste bei hohen Bildraten und mit Bildauflösung besser als Fernsehnorm aufgelöst werden können. Die Kameras erlauben neuartige Anwendungen in der Materialanalyse.

1 Einführung

Infrarotkameras mit zwei-dimensionalen Detektormatrizen, wie sie in Videokameras im sichtbaren Spektralbereich genutzt werden, wurden bis vor kurzem für nicht realisierbar gehalten, da im terrestrischen Wärmebild bei hoher Hintergrundstrahlung entsprechend ca. 300K Strahlungstemperatur kleine Temperaturdifferenzen von $\Delta T < 0.1K$ in der Bildszene mit geringem Kontrast aufgelöst werden müssen. Hierfür wird in der Detektormatrix eine homogene Empfindlichkeit mit relativen Schwankungen kleiner 10^{-4} gefordert, die in der Praxis nicht erreicht werden kann. Das feste Inhomogenitätsmuster der Detektormatrix dominiert den geringen Bildkontrast der kleinen Temperaturunterschiede in der Szene.



Abb. 1 Infrarot-Aufnahme einer Person mit Brille aufgenommen mit einer PtSi-Kamera im 3-5 μm Spektralbereich. Die Silizium-Scheibe vor dem Gesicht ist durchsichtig.

In modernen Wärmebildkameras sind neuerdings unterschiedliche Detektormatrizen (PtSi Schottky Barrieren, Quantum Well Strukturen und Cadmium-Quecksilber-Tellurid) im Hybridverbund mit einer CMOS-Ausleseschaltung möglich[1-3]. Die Inhomogenität der Respons über die individuellen Detektoren in der Matrix wird rechnerisch durch

schnelle Prozessoren in Realzeit während der Bildaufnahme eliminiert[4]. Der Offset und die Ansprechempfindlichkeit müssen korrigiert werden. Die Möglichkeit der Korrektur des festen Inhomogenitätsmusters und die Stabilität der Korrektur bestimmen die Anwendbarkeit der Bildaufnahme[4]. Mit diesen Kameras werden extrem kleine Temperaturkontraste $\Delta T < 0.01K$ aufgelöst. Die Bildauflösung erreicht Fernsehnorm mit 480x640 Pixels. Für kleinere Matrizen von Detektoren mit hohem Quantenwirkungsgrad werden Bildfolgeraten bis 800Hz erzielt[2], so dass Kurzzeiteffekte in der Wärmeverteilung detektiert werden können.

2 Thermographien mit IR-Detektormatrizen

Beispiele von Wärmebildern (Thermographien) aufgenommen mit starrenden Infrarot(IR)-Detektormatrizen sind in den Abb. 1-2 gezeigt.

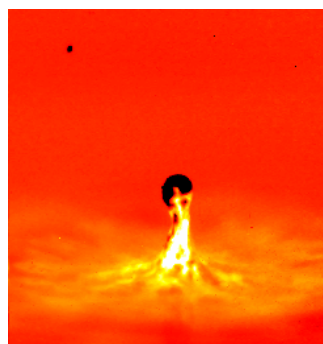


Abb. 2 Infrarot-Aufnahme eines Methanoltröpfchens, das 20ms nach Auftreffen auf die Wasseroberfläche durch die Oberflächenspannung wieder hoch geschleudert wird.

Die Abb. 1 zeigt eine Person, die eine Siliziumscheibe vor dem Gesicht hält. Für die Kontraste ist eine Falschfarbendarstellung genutzt. Das Glas der Brille ist im genutzten Spektralbereich 1-3 μm undurchsichtig, während die Si-Scheibe durchsichtig ist. Die hohe Auflösung ist insbesondere an dem Silizium-Wafer erkennbar, in dem die gefertigten Bauelementstrukturen aufgelöst werden.

Die Abb. 2 zeigt eine Kurzzeit-Thermographie für ein Methanoltröpfchen, das in Wasser gefallen ist und nach 20 ms durch die Oberflächenspannung wieder hoch geschleudert wird. Durch Lösungswärme wird die Wasseroberfläche in der Umgebung erwärmt, das Tröpfchen selbst ist noch kalt.

3 Anwendungen von Wärmebildaufnahmen

Vielfältige Anwendungen[3,5-7] entstehen für die Wärmebildaufnahme, wenn durch vorgegebene experimentelle Bedingungen gezielt bestimmte Eigenschaften gemessen werden. Als Beispiel ist in Abb. 3 die Detektion eines Mikrorisses in einer Siliziumscheibe gezeigt. Der Riss wird als Unterbrechung der Wärmeleitung detektiert, wenn ein Temperaturgradient angeprägt wird.

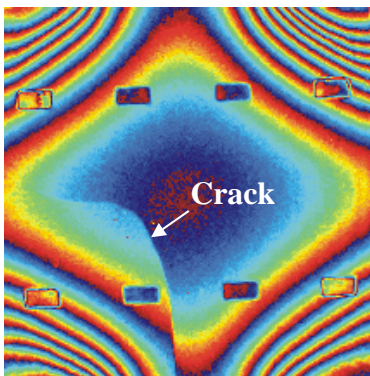
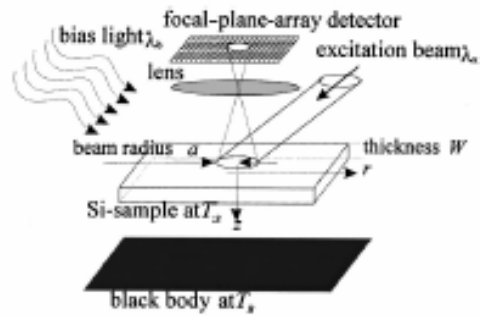


Abb. 3 Infrarot-Aufnahme einer Si-Scheibe, die an den vier Ecken durch die Auflage geheizt wird. Die Farbdarstellung mit mehreren Umschlägen wird genutzt, um Isothermen darzustellen. Die Stufe (Crack) zeigt die Unterbrechung der Wärmeleitung im Bereich eines Mikrorisses.

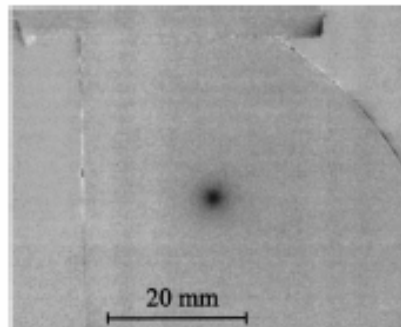
Eine komplexe Vorgehensweise ist in Abb. 4 gezeigt. Hier wird im Bereich des spektralen Transmissionsfensters von Silizium, die geringe Absorption von freien Ladungsträgern demonstriert. Das Teilbild a) zeigt den experimentellen Aufbau. Die Si-Scheibe wird wie ein photographisches Diapositiv in Durchsicht betrachtet. In der homogenen Beleuchtung durch einen Schwarzkörperstrahler (black body) wird die durch einen Laser Strahl (excitation beam) punktförmig erzeugte freie Ladungsträgerdichte als Absorption sichtbar (Teilbild b). Das Abklingen der Absorption nach Abschalten der Anregung ist proportional zur Lebensdauer der Ladungsträger. Die räumliche Verteilung der Ladungsträgerdichte bei homogener Anregung zeigt die Ladungsträgerlebensdauer-Verteilung in der Scheibe[7].

4 Folgerungen

Wärmebildaufnahme mit starrenden Infrarotdetektormatrizen ermöglicht nicht nur Thermographie mit hoher Auflösung. Durch gezielte Festlegung der Messbedingungen wird die Bildgebung genutzt



a)



b)

Abb. 4 Messaufbau zur Bestimmung der Absorption freier Ladungsträger in Halbleitern und Messung der Ladungsträgerlebensdauer. Teilbild a): Schematik des Versuchsaufbaus. Teilbild b): Wärmebild der Siliziumscheibe bei punktförmiger Anregung.

um Materialdefekte zu lokalisieren und Materialeigenschaften bildgebend zu bestimmen. Die Auflösung des geringen Bildkontrastes und die Inhomogenitätskorrektur in Realzeit sind von großem Vorteil, um störenden Hintergrund zu unterdrücken. Mit Lock-in-Technik kann die Empfindlichkeit weiter gesteigert werden.

5 Referenzen

- [1] AIM (AEG Infrarot Module GmbH), Heilbronn <http://www.aim-ir.com/>
- [2] Thermosensorik GmbH, Erlangen-Tennenlohe <http://www.thermosensorik.de>
- [3] M. Schulz et al.: „High-resolution thermal measurements“ in High Temperature – High Pressure 32(2000)547-556
- [4] W. Gross et al.: „Correctability and long-term stability of IR-FPAs“ in Opt. Eng. 38(1999)862
- [5] Th. Hierl et al.: „Infrared imaging of buried heat sources“ in Proc. SPIE 107(1997) 3061
- [6] Th. Hierl et al.: „Localisation of methane distributions“ in Proc. SPIE 3533(1999)234
- [7] R. Brendel et al.: „Analysis of photoexcited charge carrier density profiles in Si“ in Appl. Phys. Lett. 80(2002)437