



Doctoral Thesis

Photovoltaische Bleichalkogenid-Sensoren für das mittlere Infrarot

Author(s):

John, Joachim

Publication Date:

1998

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001935955> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss ETH Nr. 12557

**PHOTOVOLTAISCHE BLEICHALKOGENID-
SENSOREN FÜR DAS MITTLERE INFRAROT**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZÜRICH

vorgelegt von

JOACHIM JOHN

Dipl.-Phys. (Universität Freiburg i. Br.)

geboren am 8. November 1966

von Deutschland

angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. U. Keller, Referent

Prof. Dr. M. Tacke, Korreferent

PD Dr. H. Zogg, Korreferent

1998

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden photovoltaische Infrarotsensoren hergestellt und untersucht. Bei dem infrarotsensitiven Material handelt es sich um Schmalbandhalbleiter aus der Gruppe der Bleichalkogenide. Das Wachstum dieser IV-VI-Materialien wurde mithilfe einer 20 Å dicken CaF_2 -Zwischenschicht auf 3"-Siliziumscheiben in einer Molekularstrahlepitaxie (MBE)-Anlage durchgeführt. Es handelt sich hier um nichtgitterangepasste Heteroepitaxie. Die IV-VI-Schichten reissen auch nicht bei Dicken von mehreren μm , weil die, durch Gitterfehlpassung und thermisch induzierten mechanischen Spannungen durch Versetzungsgleiten abgebaut werden.

Ein erster Teil dieser Arbeit galt der Einstellung der Dicke der verwendeten CaF_2 -Zwischenschicht, die sich als massgeblicher Parameter für die Qualität der folgenden Bleichalkogenidschicht erwies. Die verwendete CaF_2 -Schichtdicke liegt mit 20 Å unterhalb der kritischen Schichtdicke für die Bildung von Grenzflächenversetzungen für CaF_2 auf Si. Diese liegt bei etwa 30 Å.

Die IV-VI-Schicht wurde durch temperaturabhängige Halleffektmessungen, durch Ätzgrübchendichtemessungen und durch Röntgendiffraktionsmessungen charakterisiert. Fadenversetzungsenden, die durch die Diodenfläche laufen, verschlechtern deren Eigenschaften. Die Dekorierung der Fadenversetzungsenden auf der Oberfläche durch Ätzgrübchen erwies sich als aussagekräftiges Instrument, um eine Korrelation zwischen Schichteigenschaften und Diodeneigenschaften zu finden. Die Technik machte es möglich, das Gleiten von Fehlpassungsversetzungen zu beobachten. Durch thermisches Zyklieren ist es möglich, die Fadenenden der Versetzungen an den Probenrand zu treiben und so, auf quasi versetzungsfreien Flächen, Dioden zu strukturieren.

Ein weiterer Teil dieser Arbeit bestand darin, die Herstellungstechnologie für PbSnSe -Sensoren zu verbessern und eine neue Technologie für PbTe -Sensoren zu entwickeln. Schottkykontaktdioden wurden durch Aufbringen von Pb auf PbSnSe - und PbTe -Schichten hergestellt. Mit PbTe konnten zudem in der MBE-Anlage homoepitaktische p-n-Übergänge gewachsen werden. Dies war infolge der geringeren Diffusion von Te in PbTe gegenüber Se in PbSe möglich.

Eine entscheidende Grösse für die Qualität der Photodioden ist das R_0A -Produkt, das aus dem differentiellen Widerstand, bei Vorspannung 0 V, und

der Diodenfläche gebildet wird. Das R_0A -Produkt stellt im Wesentlichen die inverse Leckstromdichte dar. Für Schottkydioden konnte im Temperaturbereich von 300 K bis etwa 120 K die theoretisch vorhergesagte Grenze (Schottkylimit) des R_0A -Produktes erreicht werden.

Das R_0A -Produkt der Dioden mit p-n-Übergang war im Temperaturbereich von 300 K bis 100 K durch einen Generations-Rekombinations-Leckstrommechanismus (GR-Limit) begrenzt. Der durch GR bedingte Leckstrom führt zu niedrigeren R_0A -Werten als der Leckstrom durch Diffusion der Ladungsträger.

Durch Anpassung theoretischer Modelle an erhaltene Messwerte konnten Parameter wie Ladungsträgerlebensdauer, Idealitätsfaktor, Oberflächenbeweglichkeit, Breite der Verarmungszone usw. bestimmt werden.

Für die Anwendung wurden bilineare IR-Sensorenarrays von 2×128 Bildpunkten hergestellt. Die Funktionsfähigkeit dieser Sensoren wurde in einer spektroskopischen, wie auch in einer Kameraanwendung nachgewiesen.

SUMMARY

In this work, photovoltaic infrared sensors were fabricated and investigated. Narrow bandgap lead chalcogenide semiconductors (such as PbSe from the IV-VI group) were used as infrared sensitive materials. Epitaxial layers of IV-VI compounds were grown on 3 inch silicon wafers by molecular beam epitaxy (MBE). A thin buffer layer of CaF_2 was used for compatibility reasons.

The quality of the overgrown lead chalcogenide layer depends critically on the thickness of the CaF_2 layer. The optimum thickness of this buffer layer should be below the critical layer thickness for formation of dislocations of about 30\AA .

The IV-VI-layers were characterized by low temperature Hall-effect measurements and x-ray diffraction measurements. The threading ends of the dislocations at the surface were decorated and the etch pit density was measured. This was identified as a good means to predict the diode quality. Each dislocation passing through a diode area decreases the electrical properties of the diode. The etch pit density measurement enables to observe the gliding of dislocations. It is shown that on thermal cycling dislocations move towards the edge of the sample. Therefore it was possible to fabricate diodes on the low dislocation density ($<10^6/\text{cm}^2$) part of the layer.

Another part of this work was to improve an existing technology for PbSnSe sensors. In addition, a new technology was developed for the fabrication of PbTe sensors. Evaporated Pb was used to form Schottky diodes on PbSnSe and PbTe layers. In the case of PbTe a p-n-junction was fabricated homoepitaxially by MBE, simplifying the sensor technology.

The R_0A -product, as determined from the current-voltage (I-V) curve, is an important parameter to estimate the diode quality. Basically, the R_0A -product corresponds to the inverse leakage current density of the diode. By fitting the experimental data with theoretical calculations, parameters like carrier lifetime, surface mobility, ideality factor, width of the depletion zone etc. were estimated.

Bilinear IR-sensor arrays of 2×128 pixels were fabricated in IV-VI epitaxial layers on Si substrates. These arrays were employed in an IR-spektrometer and in an IR-camera, and their functionality was demonstrated for each application.