

# Implementierung eines XEye Röntgendetektors in die in-situ CT eines PVT Züchtungsreaktors

Michael SALAMON<sup>1</sup>, Matthias ARZIG<sup>2</sup>, Peter WELLMANN<sup>2</sup>, Norman UHLMANN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Erlangen

<sup>2</sup> Friedrich-Alexander Universität Erlangen Nürnberg, Erlangen

Kontakt E-Mail: michael.salamon@iis.fraunhofer.de

## Kurzfassung

Das Physical-Vapor-Transport (PVT) Verfahren wird heute weitläufig zur Herstellung von Silizium Carbid (SiC) verwendet. Das Besondere an dem Verfahren ist die Züchtung, die anders als bei den am weitesten verbreiteten Halbleitermaterialien nicht aus der Schmelze, sondern aus der Gasphase erfolgt. Diese Eigenschaft bietet besonders für Röntgenverfahren den Vorteil, dass der entstehende Kristall von einer für Röntgenstrahlen nahezu transparenten Gasphase umschlossen ist; im Gegensatz zur Schmelzzüchtung, bei der der Kontrast zwischen bereits erstarrtem Material und der Schmelze lediglich auf einem geringen Dichteunterschied beruht. Vergangene Arbeiten haben gezeigt, dass die wesentlichen Herausforderungen des Röntgenverfahrens und insbesondere der Computertomographie darin bestehen, die Messtechnik an den peripheren Aufbau des Züchtungsreaktors anzupassen. Ein wesentliches Kriterium stellt dabei die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) des bildgebenden Systems dar. Die zur Züchtung erforderliche Prozesstemperatur von ca. 2300°C wird anhand einer induktiven Heizung innerhalb eines Graphittiegels erzeugt. Damit einhergehend ergeben sich E-Felder im Umfeld der Heizspule die insbesondere den Detektor stören können. Dies ist bei dem bislang verwendeten Detektor vom Typ Varian 2520 D der Fall. Nur mithilfe einer speziellen Abschirmung war der in-situ Betrieb bislang möglich. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Züchtungsanlage wurde das CT System mit einem XEye Detektor ausgestattet. Der am Fraunhofer EZRT entwickelte Detektor besitzt aufgrund seiner Bauweise eine deutlich bessere Verträglichkeit gegenüber den E-Feldern und kann so ohne besondere Vorkehrungen an der Anlage betrieben werden. Die sich daraus ergebenden Vorteile für die in-situ Computertomographie sowie die bildgebenden Eigenschaften des Systems werden im Rahmen der Veröffentlichung dargestellt und mit dem bisherigen Detektor verglichen.

# Implementierung eines XEye Röntgendetektors in die in-situ CT eines PVT Züchtungsreaktors

Michael SALAMON<sup>1</sup>, Matthias ARZIG<sup>2</sup>, Peter WELLMANN<sup>2</sup>, Norman UHLMANN<sup>1</sup>

Zur Züchtung von SiC Kristallen kommt das Physical Vapor Transport (PVT) Verfahren zum Einsatz. Anders als die z.B. zur Herstellung von monokristallinem Silizium weit verbreitete Schmelzzüchtung bietet dieses Verfahren besondere Vorteile für die Röntgenbildgebung da der Materialzuwachs in der umgebenden Gasatmosphäre einen hohen Absorptionskontrast aufweist. Eine während der Züchtung durchgeführte Computertomographie ermöglicht eine dreidimensionale Darstellung der Wachstumsgrenze und somit Rückschlüsse auf wichtige Züchtungsparameter wie Facettenbildung und Wachstumsrate. Zusammen mit den Prozessparametern ermöglichen die gewonnenen Daten die Optimierung des Züchtungsvorgangs.

## Problemstellung

Besonders die Computertomographie wird jedoch von einigen Faktoren beeinflusst. Der komplexe Aufbau des Züchtungsreaktors bestehend aus diversen Isolationsschichten sowie einer Spule zur Einbringung der Heizleistung in den Tiegel überlagern die Röntgenprojektion. Zusätzlich dazu spielen periphere Einflüsse, die die Funktionsweise der Röntgenkomponenten an sich beeinflussen eine wichtige Rolle. Neben der parasitären thermischen Belastung der Komponenten aus dem benachbarten Induktionsfeld ist der Einfluss der elektromagnetischen Felder auf die Funktionsweise des Detektors maßgeblich. Der Betrieb konventioneller Röntgendetektoren hat sich in der Vergangenheit nur unter Nutzung besonderer EMV Abschirmung als möglich erwiesen. Wie in Abbildung 1 gezeigt konnte durch den Einsatz einer Umlaufenden Einhausung zumindest eine prinzipielle Funktion erreicht werden, jedoch mit starken Signalüberlagerungen die einer Kompensation bedürfen. Zusätzlich wird die Signalqualität von der ebenfalls im Eingangsfenster des Detektors befindlichen Abschirmung beschränkt und wirkt sich negativ auf die Messzeit aus.

## Lösungsansatz

Im Zuge der Weiterentwicklung wurde der am Fraunhofer EZRT entwickelte Röntgendetektor XEye2020 für die Anwendung erprobt. Aufgrund seiner Bauweise als Fluoroskop, sowie der in dieser Version zum Einsatz kommenden CCD Kamera Technologie wurde eine verminderte Störanfälligkeit erwartet.

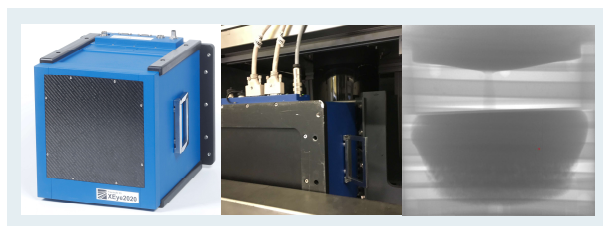


Abbildung 2: Links: Detektor XEye2020. Mitte: Detektor eingebaut ohne zusätzliche Einhausung. Rechts: Störungsfreie Bildqualität bei typischer Heizleistung zw. 5-20 kW.

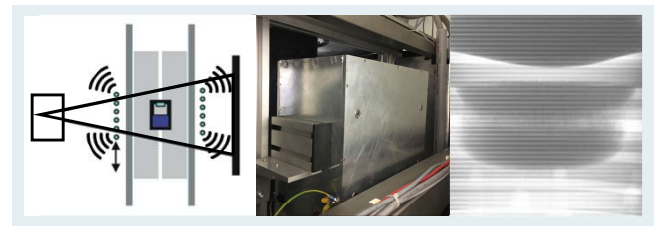


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Züchtungsanlage und des bildgebenden Systems. Mitte: Detektoreinhausung zur Verbesserung der EMV Eigenschaften. Rechts: Verbleibende Störungen im Bild trotz eingeführter Maßnahmen.

## Ergebnisse

Wie in Abbildung 2 gezeigt konnte der Detektor ohne weitere Abschirmvorkehrungen in die Anlage integriert werden und ein störungsfreier Betrieb auch bei der üblichen Leistungseinkoppelung zwischen 5-20 kW erreicht werden. In Abbildung 3 ist das resultierende Absorptionsprofil vertikal zur Wachstumsgrenze des Kristalls dargestellt. Während die Abbildung mit einem herkömmlichen Röntgendetektor eine periodisch oszillierende Überlagerung aufweist ist das Absorptionsprofil des XEye Röntgendetektors frei von Störeinflüssen. Bei der Durchführung der In-Situ CT Messung mittels des XEye Detektors kam jedoch ein anderer Effekt zum Vorschein der bei der weiteren Nutzung berücksichtigt werden muss. Der Temperaturanstieg innerhalb der Züchtungsanlage führt zu einem nicht linearen Antwortverhalten der einzelnen Sensormodule. In Abbildung 4 sind die im Verlauf der Messung auftretenden Signalunterschiede zwischen zwei benachbarten Kameramodulen sichtbar.

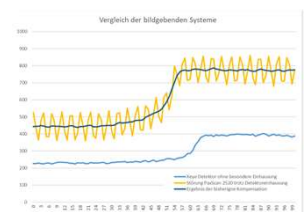


Abbildung 3: Absorptionsprofil entlang der Wachstumsgrenze erfasst mit den unterschiedlichen Detektorsystemen

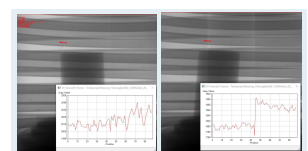


Abbildung 4: Langzeit Einflüsse der Heizung auf die Bildqualität. Links: Liniendiagramm Auswertung zwischen zwei benachbarten Detektorkacheln kurz nach dem Start der Messung. Rechts: selbiges Profil erzeugt am Ende der Messung. Der Signalsprung zwischen den Modulen ist klar zu erkennen.

Michael Salamon

Dipl.-Ing.(Fh)  
Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS  
Tel. +49 911 58061-7562  
Michael.Salamon@iis.fraunhofer.de  
www.iis.fraunhofer.de

## Fazit

Die Nutzung des XEye Detektors bietet Vorteile für den Einsatz in EMV sensibler Umgebung gegenüber den konventionellen, z.B. auf a-Si TFT basierenden Röntgendetektoren. Die thermische Instabilität muss jedoch berücksichtigt werden