



Doctoral Thesis

Development of a 25 micron pixel detector for phase-contrast imaging

Author(s):

Cartier, Sebastian

Publication Date:

2017

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010886147> →

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 NO. 24204

Development of a 25 micron pixel detector for phase-contrast imaging

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr.sc. ETH ZURICH)

presented by

Sebastian Cartier

Master Of Science MSc in Computer Science, EPFL

born on 14.03.1985

citizen of Oensingen SO

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. R. Horisberger

Prof. Dr. R. S. Wallny

Dr. B. Schmitt

2017

Abstract

High spatial resolution, high-efficiency, low-noise and energy discrimination are detector features needed for many X-ray applications, in particular the ones related to imaging. In this thesis two charge integrating silicon detectors are investigated. Charge-integrating detectors can exceed many limits of single photon counting detectors. The pixel size can be much smaller, since less electronics is needed per pixel in the read-out chip. With charge integrating detectors it is possible to detect the energy of the absorbed photon, which is proportional to the generated charge in the sensor. Additionally, compared to photon counting detectors, where the charge sharing between pixels limits the minimal pixel size, the spatial resolution can be increased by investigating the charge sharing between neighboring pixels using the analog information, thus allowing even more spatial information than given by the pixel size and position.

In this thesis two charge integrating detectors developed at the Swiss Light Source are investigated. A one-dimensional strip detector with a strip pitch of $25 \mu\text{m}$ and a two-dimensional pixelated hybrid detector with a pixel size of $25 \times 25 \mu\text{m}^2$. These detectors are optimized and are most efficient in the energy region from 3 keV up to 30 keV . The pixelated detector was characterized, and a method to exploit the charge sharing effect to gain additional position information was developed. The developed method was tested in experiments with an X-ray tube and also at the synchrotron. One of the key findings answered with these experiments was the measurement of the spatial resolution of the detector together with the assessment of the position interpolation methods. A position resolution on the micrometer level was achieved.

The main motivation for the development of the interpolation method is its application to grating based phase contrast measurements. With the grating interferometer a fringe, that is a Talbot self-image of the phase grating, is recorded. Since the sample changes the fringe pattern, it is possible to deduce the phase change introduced by the sample. The phase change encodes information about the material properties of the sample and is especially interesting for weakly absorbing materials common in biological and medical imaging. The main limitation of this setup is the resolution of the detector. To resolve the fringes with detectors that have not enough spatial resolution, an analyzer absorption grating is stepped in front of the detector. This stepping procedure requires high mechanical stability of the setup, increases the acquisition time and the deposited dose in the sample, and thus prevents medical applications. In this thesis I show experimentally, that small pitch charge-integrating detectors are capable of resolving the fringes without the help of an analyzer grating. This is possible by using the developed method to investigate the charge sharing between neighboring pixels. With the experiments I successfully demonstrated that the analyzer grating is not needed, which could be a major step towards the medical applicability of grating based phase contrast measurements.

Zusammenfassung

Für viele Anwendung mit Röntgenstrahlen werden Detektoren gewünscht, welche eine hohe Positionsauflösung und Effizienz haben, und gleichzeitig wenig rauschen. Diese Anforderungen sind besonders bei bildgebenden Verfahren wichtig. Die in dieser Arbeit untersuchten Detektoren, welche der Klasse der ladungsintegrierenden Silizium Detektoren angehören, haben viele Vorteile gegenüber den weit verbreiteten photon counting Detektoren. Die Elektronik für jedes Pixel kann stark vereinfacht werden, und erlaubt daher kleinere Pixelgrößen. Mit ladungsintegrierenden Detektoren ist es ebenfalls möglich die Photonenenergie, welche proportional zur generierten Ladung im Sensor ist, zu bestimmen. Zusätzlich kann die Positionsauflösung mit Hilfe der Ladungsteilung zwischen benachbarten Pixeln, welche bei photon counting Detektoren ein weiterer limitierender Faktor für die Pixelgröße ist, erhöht werden. Dies erlaubt eine deutlich bessere Positionsaufösungen, als die Pixelgröße.

In Rahmen dieser Doktorarbeit wurden zwei am Swiss Light Source neu entwickelte ladungsintegrierende Detektorsysteme getestet. Zum Einen ein Streifendetektor mit $25 \mu\text{m}$ Streifenbreite, zum Anderen ein Pixeldetektor mit einer Pixelgröße von $25 \times 25 \mu\text{m}^2$. Diese Detektoren haben eine hohe Effizienz für harte Röntgenstrahlen im Bereich von 3 keV bis 30 keV . In dieser Doktorarbeit wurde die spektralen Eigenschaften des Pixeldetektors charakterisiert, sowie eine Methode entwickelt welche die zusätzlich verfügbare Information über die Photonenenergie und die Ladungsteilung zwischen Pixeln auswertet und ein hochaufgelöstes Bild inklusiv Photonenenergie liefert. Die Methode wurde ausführlich mit einer Röntgenröhre sowie am Synchrotron getestet. Dabei wurde auch die Auflösung des Detektorsystems im Zusammenhang mit der erwähnten Methode evaluiert. Eine Positionsauflösung im Mikrometerbereich wurde erreicht.

Die Hauptmotivation für die erhöhte Positionsauflösung ist das Aufnehmen von Phasenkontrastinformation mit Hilfe eines Gitterinterferometers. Bei diesem Interferometer wird mithilfe des Talbot-Effekts ein Interferenzmuster, welches ein Abbild des Phasengitters ist, aufgezeichnet. Die Probe verändert das Interferenzmuster, wobei unter Berücksichtigung der Änderung die Phasenverschiebung durch die Probe bestimmt werden kann. Die Phasenverschiebung erlaubt insbesondere für biologische und medizinische Proben Rückschlüsse auf die Materialeigenschaften. Der limitierende Faktor beim Gitterinterferometer ist die Auflösung des Detektors, da die Verschiebung des Interferenzmusters maximal wenige Mikrometer beträgt, und der Abstand der Interferenzspitzen typischerweise ebenfalls wenige Mikrometer beträgt. Um das Interferenzmuster trotz limitierter Auflösung zu detektieren, wird heutzutage meist ein Absorptionsgitter vor dem Detektor schrittweise durchgeschoben. Diese Prozedur verlangt eine hohe mechanische Stabilität des Aufbaus, verlängert die Erfassungszeit und erhöht die Dosis, da typischerweise die Hälfte der Röntgenstrahlen die Probe zwar durchdringen, aber nicht detektiert werden. Mit dieser Arbeit wurde experimentell gezeigt, dass die Auflösung der ladungsintegrierenden Detektoren, unter Anwendung der Methode, welche die Ladungsteilung zwischen Pixeln auswertet, hoch genug ist, und das Interferenzmuster direkt aufgelöst werden kann. Dies vereinfacht den Aufbau des Git-

terinterferometers, da das Absorptionsgitter nicht mehr benötigt wird, und bietet die Perspektive gitterbasierte Phasenkontrastmessungen medizinisch zu nutzen.