



UvA-DARE (Digital Academic Repository)

On the cutting edge of semiconductor sensors: towards intelligent X-ray detectors

Bosma, M.J.

Publication date
2012

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Bosma, M. J. (2012). *On the cutting edge of semiconductor sensors: towards intelligent X-ray detectors*. [Thesis, fully internal, Universiteit van Amsterdam].

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

Samenvatting

Detectorontwikkeling voor medische-radiografiesytemen spitst zich momenteel toe op het verhogen van beeldkwaliteit met gebruik van een lagere stralingsdosis. Een hoge beeldkwaliteit wordt gekenmerkt door een goede beeldscherpte en een minimale hoeveelheid ruis. Dit vereist detectoren met een hoge ruimtelijke resolutie, welke het vermogen hebben om zowel grote als kleine intensiteitsverschillen nauwkeurig te meten. Om een dergelijke detector te realiseren, moeten zowel de sensor als de uitlezing worden geoptimaliseerd.

De huidige op CCD- en TFT-gebaseerde detectoren integreren de hoeveelheid gegenereerde lading in de sensor en gebruiken dat als maat voor de Röntgenstralingsintensiteit per pixel. Dit maakt dat hoog-energetische fotonen zwaarder worden gewogen dan laag-energetische, hetgeen de signaal-ruis verhouding niet ten goede komt. In dit proefschrift gebruiken we een fotontellende uitleeschip (Medipix) als basis om dit probleem op te lossen. Deze chip meet de Röntgenstralingsintensiteit door het aantal geïnduceerde signaalpulsen te tellen. Op deze manier wordt ieder foton gelijk behandeld, ongeacht zijn energie. Het beeld van fotontellende detectoren komt daardoor beter overeen met de intensiteitsverdeling aan de ingang van de detector dan dat van ladingsintegrerende detectoren. De laatste afstammeling van de Medipix-chip familie (Medipix-3) kan bovendien signalen die op clusters van pixels worden geïnduceerd met elkaar combineren, hetgeen de energieresolutie ten goede komt. Maar misschien nog wel belangrijker voor radiografische toepassingen: de elektronica die communicatie tussen naburige pixels bewerkstelligt, kan worden aangewend om fotonen van verschillende energieën te onderscheiden. Dit stelt ons in staat om de energie-afhankelijkheid van de intensiteitsverzwakking door het te bestuderen object te corrigeren.

Medipix detectoren worden ook wel aangeduid als hybride pixel detectoren. In deze context betekent hybride dat zowel de sensor als de uitleeschip apart wordt gefabriceerd voordat ze samen worden geassembleerd om één detector te vormen. Dit maakt het mogelijk om beide onderdelen afzonderlijk van elkaar te optimaliseren en bovendien biedt het de mogelijkheid om verscheidene sensormaterialen, zoals kristallijn gallium arsenide en cadmium telluride, te gebruiken.

Zulke halfgeleidersensoren met een hoog atoomgetal zijn uitermate interessant voor toekomstige radio-diagnostische systemen. In vergelijking tot amorf selenium, een veelgebruikt conversiemateriaal in huidige systemen, hebben ze namelijk een hogere kwantumefficiëntie vanwege hun hoge absorptievermogen, lagere effectieve elektron-gat-paar

creatie-energie en relatief goede ladingstransport-eigenschappen. Bovendien vertonen ze weinig lekstroom in groot temperatuurdomein.

Echter, zowel het oppervlak van de Medipix chip ($\sim 2 \text{ cm}^2$) als het gelimiteerde oppervlak van de huidig beschikbare kristallen ($\sim 10 \text{ cm}^2$) vormt een grote uitdaging om diagnostische systemen met een groot oppervlak te realiseren. Een getegeld oppervlak van Medipix detectoren zou de oplossing daarvoor kunnen bieden. Het huidige ontwerp is echter zo dat Medipix detectoren ongevoelig aan de rand zijn, hetgeen zich zou vertalen in naden in het samengestelde beeld. De afschermelektroden aan de rand van sensoren, die weliswaar het actieve gebied van de sensoren beschermen tegen schadelijke invloeden van hun veelal imperfecte rand, zijn één van de veroorzakers van een dode rand. De breedte van deze rand wordt aangeduid als randafstand en is in het geval van conventionele sensoren van vergelijkbare grootte als de dikte van de sensor.

Ten behoeve van minimalisatie van deze ongevoelige rand, beschrijft dit proefschrift een studie naar het detectiegedrag van zowel actieve-rand als smalle-rand sensoren. Beide typen worden gekenmerkt door een randafstand die typisch 5 % tot 35 % van de sensordikte bedraagt. Actieve-rand sensoren onderscheiden zich van smalle-rand sensoren door hun gedoteerde rand. Deze randelektrode zorgt voor een elektrisch-veldverdeling in de sensor die het gevoelige sensorvolume van de rand isoleert. Smalle-rand sensoren hebben deze elektrode niet.

Om ongewenste randeffecten zo veel mogelijk te voorkomen, is men bij de fabricage van dit type sensoren genoopt tot het gebruik van zaagmethoden die een minimale hoeveelheid schade aan de rand toebrengen. Daarbij moet gedacht worden aan technieken als anisotroop etsen met behulp van een chemisch actief ionenplasma of snijden door middel van sterk gefocusseerd laserlicht.

Randeffecten vertalen zich onder andere in een lokaal vergroot geleidingsvermogen, hetgeen leidt tot verhoogde lekstroom. Om de hoge gevoeligheid van sensoren te waarborgen, dient de lekstroom zo laag mogelijk gehouden te worden. In dit proefschrift is een groep actieve-rand p-in-n silicium sensoren elektrisch gekarakteriseerd. Alle zijn vervaardigd met partieel gedoteerde randen en smalle afschermelektroden van verschillende breedte en polariteit op de rand, zogeheten stop-ringlektroden. De resultaten laten zien dat de lekstroom van deze prototypes vergelijkbaar is met dat van conventionele sensoren, terwijl de randafstand met een factor 5 tot 10 is verkleind. Bovendien suggereren de resultaten dat stop-ringlektroden van positieve polariteit het actieve gebied beter beschermen tegen rand-geïnduceerde lekstromen dan die van negatieve polariteit. Een verklaring hiervoor is dat de p-type stop-ringlektroden oppervlaktestromen beter afvoeren.

Hoewel actieve-randtechnologie een verkleining van de inactieve rand toelaat zonder dat het gevoelige gebied door lekstroom wordt overspoeld, verbuigt de randelektrode de veldlijnen in het gebied dichtbij de rand. Dit leidt ertoe dat het effectieve volume van randpixels verschilt van hun fysieke volume. Vanzelfsprekend is de grootte van dat verschil afhankelijk van het potentiaalverschil tussen het actieve gebied en de achterkant van de sensor. Simulaties van de potentiaalverdeling in $150 \mu\text{m}$ dikke overgedepleteerde sensoren met een randafstand van $50 \mu\text{m}$ (zonder stop-ringlektrode), geven aan dat slechts circa 60% van het fysieke volume van de buitenste pixels als effectief kan worden beschouwd, terwijl het effectieve volume van de op één na buitenste pixels circa 60% groter is dan

hun fysieke volume. Metingen aan de ladingsverdeling in de buitenste pixels stemmen nauwkeuring overeen met de verhoudingen tussen de gesimuleerde effectieve pixelvolumes. Dezelfde metingen geven aan dat het actieve volume zich kan uitbreiden tot aan 2 μm van de rand. Dit betekent een goede geschiktheid van dit type sensoren voor gebruik als bouwsteen voor een getegeld oppervlak van detectoren.

Zoals gezegd hebben smalle-rand sensoren helemaal geen randelektrode. Het gevoelige volume kan zodoende de rand bereiken, maar eventuele randimperfecties kunnen de detectie-eigenschappen van het actieve gebied nabij de rand wel negatief beïnvloeden. De prestaties van randpixels van smalle-rand sensoren van zowel kristallijn gallium-arsenide als cadmium-telluride zijn daarom onder de loep de genomen. Hoewel de lekstroom van de cadmium-telluride lange insteltijden (~ 60 s) laat zien, vertonen de randpixels geen hogere lekstroomdichtheden dan niet-randpixels. Ook is er geen significante verlaging van de ladingscollectie-efficiëntie waargenomen aan de rand. Resultaten inzake het ruisvermogen laten zien dat de respons van hoge- Z sensoren gedomineerd wordt door vast-patroonruis, hetgeen wordt veroorzaakt door kristallijne inhomogeniteiten. Deze vorm van ruis kan echter worden onderdrukt door middel van het toepassen van een zogeheten flat-field correctie. Van de bestudeerde hoge- Z sensoren vertonen de randpixels van de cadmium-telluride sensoren de minste toename in ruisvermogen ten opzichte van de niet-randpixels, terwijl de verhouding tussen randafstand en sensordikte voor deze sensoren het kleinst is (slechts 6.5%). Dit toont aan dat cadmium-telluride sensoren tot op zeer kleine afstand van het actieve gebied gezaagd kunnen worden zonder dat het de respons van de randpixels significant beïnvloedt. Afgezien van de bescheiden homogeniteit, zou dit hoge- Z materiaal geschikt kunnen zijn voor een getegeld oppervlak van intelligente en dosis-efficiënte detectoren.

Concluderend kan gesteld worden dat zowel actieve-rand silicium sensoren als smalle-rand cadmium-telluride sensoren potentieel hebben om gebruikt te worden in toekomstige grote detectoren. Het is waarschijnlijk dat de breedte van de ongevoelige rand gereduceerd kan worden tot het formaat van minder dan één pixel.