

ABSTRACT

Progress in CMOS technology and in fine pitch bump bonding has made possible the development of high granularity single photon counting detectors for X-ray imaging. This thesis studies the design and characterization of three pulse processing chips with 65536 square pixels of $55\ \mu\text{m} \times 55\ \mu\text{m}$ designed in a commercial $0.25\ \mu\text{m}$ 6-metal CMOS technology. The 3 chips share the same architecture and dimensions and are named *Medipix2*, *Mpix2MXR20* and *Timepix*.

The *Medipix2* chip is a pixel detector readout chip consisting of 256×256 identical elements, each working in single photon counting mode for positive or negative input charge signals. The preamplifier feedback provides compensation for detector leakage current on a pixel by pixel basis. Two identical pulse height discriminators are used to define an energy window. Every event falling inside the energy window is counted with a 13-bit pseudo-random counter. The counter logic, based in a shift register, also behaves as the input/output register for the pixel. Each cell also has an 8-bit configuration register which allows masking, test-enabling and 3-bit individual threshold adjust for each discriminator. The chip can be configured in serial mode and readout either serially or in parallel. Measurements show an electronic noise $\sim 160\ e^-$ rms with a gain of $\sim 9\ \text{mV}/ke^-$. The threshold spread after equalization of $\sim 120\ e^-$ rms brings the full chip minimum detectable charge to $\sim 1100\ e^-$. The analog static power consumption is $\sim 8\ \mu\text{W}$ per pixel with $V_{\text{dda}}=2.2\ \text{V}$.

The *Mpix2MXR20* is an upgraded version of the *Medipix2*. The main changes in the pixel consist of: an improved tolerance to radiation, improved pixel to pixel threshold uniformity, and a 14-bit counter with overflow control. The chip periphery includes new threshold DACs with smaller step size, improved linearity, and better temperature dependence.

Timepix is an evolution of the *Mpix2MXR20* which provides independently in each pixel information of arrival time, time-over-threshold or event counting. *Timepix* uses as a time reference an external clock (*Ref_Clk*) up to 100 MHz which is distributed all over the pixel matrix during acquisition mode. The preamplifier is improved and there is a single discriminator with 4-bit threshold adjustment in order to reduce the minimum detectable charge limit. Measurements show an electrical noise $\sim 100\ e^-$ rms and a gain of $\sim 16.5\ \text{mV}/ke^-$. The threshold spread after equalization of $\sim 35\ e^-$ rms brings the full chip minimum detectable charge either to $\sim 650\ e^-$ with a naked chip (i.e. gas detectors) or $\sim 750\ e^-$ when bump-bonded to a detector. The pixel static power consumption is $\sim 13.5\ \mu\text{W}$ per pixel with $V_{\text{dda}}=2.2\ \text{V}$ and $Ref_Clk=80\ \text{MHz}$.

This family of chips have been used for a wide variety of applications. During these studies a number of limitations have come to light. Among those are limited energy resolution and surface area. Future developments, such as *Medipix3*, will aim to address those limitations by carefully exploiting developments in microelectronics.

SAMMANDRAG

Framstegen inom CMOS-teknologin och tekniken för bump bonding har möjliggjort utveckling av högupplösande bilddetektorer för detektering av enskilda röntgenfotoner eller laddade partiklar. Denna avhandling behandlar design och karakterisering av tre pulsräknande utläsningskretsar med 65536 kvadratiske bildelement med storleken $55 \times 55 \text{ } \mu\text{m}^2$. De tre kretsarna, benämnda *Medipix2*, *Mpix2MXR20* och *Timepix*, delar samma arkitektur och dimensioner.

Medipix2 är en utläsningskrets för avbildning med 256×256 identiska bildelement som räknar enskilda fotoner utgående från positiva eller negativa laddningspulser. Förförstärkarens återkoppling kompenserar individuellt för läckströmmen i varje bildelement. Ett energifönster kan definieras med hjälp av två identiska diskriminatorkretsar. Varje händelse som faller inom energifönstret räknas i en 13-bitars pseudo-random räknare. Räknaren, utformad som ett skiftregister, fungerar också som in/utregister för varje bildelement. Kretsen kan läsas ut antingen seriellt eller parallellt. Det elektroniska bruset har uppmätts till $\sim 160 \text{ e}^-$ rms vid en förstärkning av $\sim 9 \text{ mV/ke}^-$. Spridningen i tröskelspänning efter justering är $\sim 120 \text{ e}^-$ rms vilket ger en minsta detekterbar laddningspuls över hela kretsen på $\sim 1100 \text{ e}^-$. Den statistiska effektförbrukningen i del analoga delen är $\sim 8 \text{ mW}$ per bildelement vid $V_{\text{dda}}=2,2 \text{ V}$.

Mpix2MXR20 är en uppdaterad version av *Medipix2*. De huvudsakliga förändringarna är: bättre strålningshårdighet, jämnare tröskelvärden och en 14-bitarsräknare med overflow. Periferin innehåller också nya DA-omvandlare med mindre steg, förbättrad linjäritet och mindre temperaturberoende.

Timepix är en vidareutveckling av *Mpix2MXR20* som medger detektering av ankomsttid, time-over-threshold eller pulsräkning individuellt i varje bildelement. *Timepix* utnyttjar en extern klocka (*Ref_Clk*) med frekvenser upp till 100 MHz som distribueras över hela bildmatrisen. Förförstärkaren är förbättrad och en enkel diskriminator med 4 bitars tröskeljustering används för att minimera lägsta detekterbara laddningspuls. Mätningar visar ett elektroniskt brus på $\sim 100 \text{ e}^-$ rms och förstärkningen $16,5 \text{ mV/ke}^-$. Med en tröskelspridning på 35 e^- rms blir minsta detekterbara laddning för den nakna kretsen (t.ex. i en gasfylld detektor) $\sim 650 \text{ e}^-$ och för en bondad detektor $\sim 750 \text{ e}^-$. Den statistiska effektförbrukningen är $\sim 13,5 \text{ mW}$ per bildelement vid $V_{\text{dda}}=2,2 \text{ V}$ och $\text{Ref_Clk}=80 \text{ MHz}$.

Den här kretsfamiljen har använts i ett antal olika applikationer. Under dessa studier har ett antal begränsningar konstaterats. Bland dessa märks begränsad energiupplösning och begränsad detektorarea. Framtida utvecklingsprojekt, t.ex. *Medipix3*, kommer att inriktas på att avhjälpa dessa begränsningar genom att utnyttja den senaste utvecklingen på mikroelektronikområdet.