



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

حسگرهای یکپارچه پیکسل فعال^۱ (MAPS) در یک فناوری VLSI

CMOS

چکیده

حسگرهای یکپارچه‌ی پیکسل فعال (MAPS) که در یک فناوری استاندارد VLSI CMOS اخیراً به عنوان یک ردیاب پیکسل فشرده برای ردیابی ذره‌ی باردار پرنانرژی در کاربردهای نقطه/ردیابی^۲ مطرح شده‌است. MAPS که حسگرهای CMOS هم نامیده می‌شوند، هم‌اینک نیز به طور گسترده در کاربردهای نور مرئی به کار می‌روند. در قیاس با فناوری‌های تصویربرداری رقیب، حسگرهای CMOS مزایای بالقوه‌ی زیادی از نظر هزینه‌ی پایین، مصرف انرژی پایین، صدای کمتر در سرعت‌های بالا، دسترسی اتفاقی به پیکسل‌ها که انتخاب یک ناحیه‌ی خاص از عکس را ممکن می‌سازد و توانایی یکپارچه‌سازی توابع مختلف روی یک چیپ دارا هستند. همه‌ی اینها با هم مفهوم «دوربین روی چیپ» را ایجاد می‌کنند.

در این مقاله، ما استفاده از حسگرهای CMOS را در فیزیک ذرات مرور کرده و عملکرد آنها را از لحاظ کارایی (فاکتور پرشدن^۳) تولید سیگنال، سروصدا، سرعت بازخوانی و پهنه‌ی حسگر بررسی کردیم. در بیشتر کاربردهای فیزیک پرنانرژی در مرحله‌ی اولیه‌ی پردازش داده پیش از انتقال داده به نوار، کاهش داده در حسگر نیاز است. به خاطر تعداد زیاد پیکسل‌ها، کاهش داده در داخل حسگر یا خارج آن لازم است. این نیازهای مهم درباره‌ی سروصدای زمانی و نیز یکنواختی حسگر را که به عنوان سروصدای الگوی ثابت^۴ (FPN) شناخته می‌شود فراهم می‌کند.

یک معماری پیکسل با یک ترانزیستور افزوده پیشنهاد شده‌است. این معماری به همراه نمونه‌برداری دوگانه‌ی مرتبط از سیگنال^۵ (CDS)، امکان حذف دو منبع مهم سروصدا یعنی صدای راه‌اندازی مجدد یا kTC و FPN را ایجاد می‌کند. یک نمونه‌ی اولیه در یک فناوری CMOS استاندارد $0/25\mu\text{m}$ طراحی شد. این طراحی همچنین

¹ Monolithic active pixel sensors

² Vertex/tracking

³ Fill factor

⁴ Fixed Pattern Noise

⁵ Correlated Double Sampling

شامل یک ساختار برای کالیبراسیون الکتریکی حسگر است. نمونه‌ی اولیه کاربردی بوده و تست‌های دقیق در حال انجام است.

کلیدواژه‌ها: ردیاب‌های حالت جامد، کم‌سروصدا، CMOS، تصویربرداری، پیکسل

1- مقدمه

ابزارهای سیلیکونی از دهه‌ی 1960 تاکنون برای ردیابی تشعشع استفاده شده‌اند (جزئیات بیشتر در [1]). جاذبه‌ی ابزارهای MOS فوراً شناخته‌شد و آرایه‌ها طراحی شدند. ولی دنیای تصویربرداری حالت جامد قرار بود با اختراع دوربین‌های شارژ همزمان¹ (CCD) در آزمایشگاه بل² در 1970 دستخوش تحول شود [2]. CCD همه‌ی فناوری‌های رقیب را کنار زد. در 1981 C. Damerell و همکاران استفاده از CCD برای ردیابی حداقل ذرات یونیزه‌شونده³ را برای بازسازی نقطه‌ای دقیق پیشنهاد کردند (برای مثال [3]). در 1983، Hitachi و Sony نخستین دوربین را به مصرف‌کنندگان معرفی کرده و در همان سال Texas Instruments نخستین وسیله‌ی مگاپیکسل را ارائه کرد [4]. در طول حدود بیست سال از پیدایش CCDها تا اواخر دهه‌ی 1980، حسگرهای CMOS به کاربردهای بسیار تخصصی از جمله ردیاب‌های افق کانونی مادون قرمز محدود بودند که در آنها حسگر CMOS به عنوان مدارهای بازخوانی ردیاب‌های نیمه‌رسانای کم-باند به کار می‌رفت [5]. معماری‌های گوناگون تقویت‌کننده ایجاد و آزموده شده‌اند [6-8]. در 1987، حسگرهای پیکسلی برای ردیابی حداقل ذرات یونیزه‌شونده پیشنهاد شدند [9]. برای این کاربرد، عنصر ردیابی در سیلیکون با مقاومت بالا قرار داده شده‌است تا از تخلیه‌ی کامل ردیاب با ولتاژ منطقی بهره بگیرد. هم روش یکپارچه و هم روش دورگه⁴ پیشنهاد شدند؛ اما در سال‌های پس از آن تنها روش دوم بود که نتایج جالب‌توجهی ایجاد کرد [10]. امروزه بسیاری از تجربیات فیزیک پرانرژی یک لایه‌ی نقطه‌ای ردیاب‌های پیکسلی دورگه دارند [11]. حسگرهای یکپارچه‌ی پیکسل فعال (MAPS) بر اساس سیلیکون با مقاومت ویژه‌ی بالا به عنوان یک عنصر ردیابی توسط S. Parker در 1989 نشان داده شد [12].

¹ Charge-Coupled Devices

² Bell

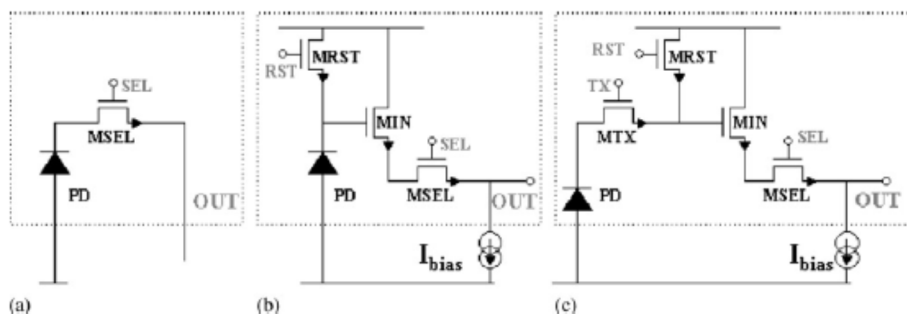
³ Minimum Ionising Particle

⁴ Hybrid

نتایج خوب تنها با ساختارهای کوچک (حدود 1mm^2 ناحیه‌ی فعال) به دست آمد [13]، ولی بیشتر از این نتایجی با اندازه‌های قابل استفاده منتشر نشد.

در اواخر دهه‌ی 1980 و آغاز دهه‌ی 1990 پیشرفت‌های جدیدی در حسگرهای بر پایه‌ی یک فناوری استاندارد CMOS رخ داد. فناوری CMOS از سوپستراهای با مقاومت ویژه‌ی پایین بهره می‌گیرد. در متون از این حسگرها با نام حسگرهای CMOS نام می‌برند. در اواخر دهه‌ی 1980 پیشرفت‌هایی در دانشگاه ادینبورگ، بریتانیا، رخ داد که بر اساس حسگرهای پیکسلی انفعالی¹ بود (شکل a1). این ابزارها به اندازه‌ی آرایه‌های سیلیکون بی‌شکل² کار می‌کنند. تنها یک ترانزیستور انتخاب به همراه دیود در هر پیکسل قرار داده شده است. بار ایجاد شده توسط تشعشع در دیود جمع می‌شود. بازخوانی با بستن سوئیچ انتخاب و انتقال بار به یک پیش تقویت کننده‌ی بار که برای همه‌ی پیکسل‌های یک ستون مشترک است انجام می‌شود. این راه حل کمترین میزان الکترونیک در پیکسل را دارد و بنابراین دارای فاکتور پرشدن بسیار بالایی است که به صورت نسبت مساحت ناحیه‌ی ردیابی و مساحت کلی پیکسل تعریف شده است. اما از نظر سرعت و سروصدا معایب فراوانی وجود دارد.

در اوایل دهه‌ی 1990، نخستین حسگرهای پیکسل فعال (APS) (شکل b1) معرفی شدند [14، 15]. عامل اصلی این پیشرفت نیاز به مصرف انرژی و وزن پایین برای کاربردهای فضایی بود. در پیکربندی حداقلی یک APS سه ترانزیستور در هر پیکسل قرار دارد (شکل b1). ترانزیستور MSRT برای راه‌اندازی مجدد پیکسل با انتقال بار به سیم مثبت تغذیه است. ترانزیستور MSEL برای انتخاب بازخوانی پیکسل و ترانزیستور MIN ترانزیستور ورودی یک تعقیب کننده‌ی منبع است. منبع جریان برای همه‌ی پیکسل‌های یک ستون مشترک است.



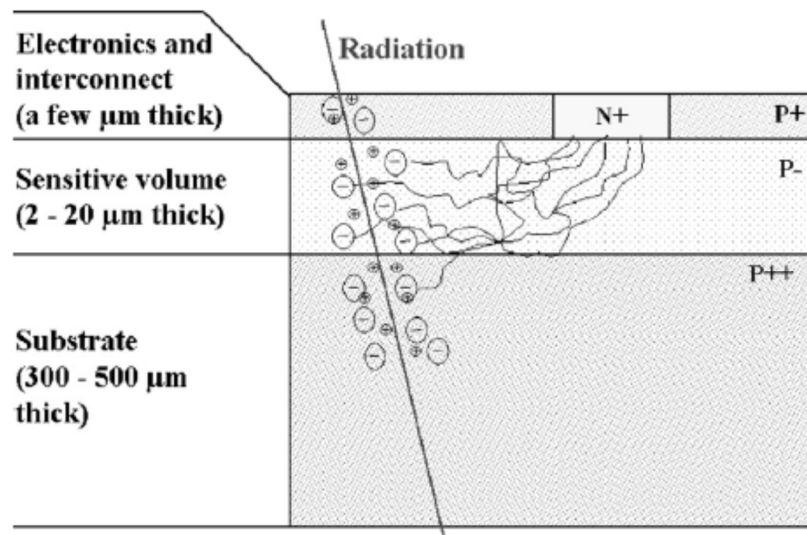
¹ Passive Pixel Sensors

² Amorphous

شکل 1. خط‌چین محدوده‌ی پیکسل را نشان می‌دهد. (a) نمای یک حسگر پیکسل انفعالی (PPS). (b) حسگر پیکسل فعال 3-MOS خط زمینه (APS). (c) 4-MOS APS با دروازه‌ی انتقال (MTX).

در قیاس با فناوری‌های تصویربرداری رقیب، حسگرهای CMOS مزایای بالقوه‌ی زیادی از نظر هزینه‌ی پایین، مصرف انرژی پایین، صدای کمتر در سرعت‌های بالا (مثلاً [16])، دسترسی اتفاقی به پیکسل‌ها که انتخاب یک ناحیه‌ی خاص از عکس را ممکن می‌سازد و توانایی یکپارچه‌سازی توابع مختلف روی یک چیپ دارا هستند. همه‌ی اینها با هم مفهوم «دوربین روی چیپ» را ایجاد می‌کنند [1].

کاربرد حسگرهای CMOS در فیزیک ذرات در 1999 پیشنهاد شد [17]. تفاوت عمده نسبت به کاربردهای نور مرئی این است که حسگر باید 100٪ کارا باشد. این امر با استفاده از ساختاری عملی می‌شود که در اکثر فناوری‌های CMOS در دسترس است و در اصل برای تشخیص نور مرئی پیشنهاد شده‌بوده‌است [18]. یک نمای کلی از مقطع عرضی یک فناوری CMOS در شکل 2 نمایش داده‌شده‌است. در مدرن‌ترین فرایند CMOS، جایگاه‌های p و n روی یک لایه‌ی همبافته‌ی دوپینگ‌شده با P با مقاومت ویژه‌ی حدود 1 تا $10\Omega\text{cm}$ ساخته می‌شوند. لایه‌ی همبافته دارای ضخامت چند تا $20\mu\text{m}$ و با وجود سوبسترای فسفر زیرین بسیار دوپینگ‌شده است که نقش اصلی آن در واقع حفاظت فیزیکی می‌باشد. یک اتصال p-n بین جایگاه n و لایه‌ی p وجود دارد که می‌تواند به عنوان ردیابی به کار رود. به دلیل تفاوت در دوپینگ لایه‌ی همبافته، جایگاه p و سوبسترای p، یک اختلاف پتانسیل در حد چند kT/q ایجاد می‌شود. لایه‌ی همبافته به عنوان یک مخزن پتانسیل توخالی برای الکترون‌ها عمل می‌کند که اقلیت حامل‌ها هستند. الکترون‌های ایجادشده از تشعشع در لایه‌ی همبافته منتشر می‌شوند تا به دیود p/n برسند که در آنجا با میدان مغناطیسی مواجه و توسط دیود جمع‌آوری می‌شوند.



شکل 2. مقطع عرضی یک فرایند CMOS که عملکرد فاکتور پر شدن 100٪ این ساختار را نشان می‌دهد.

پس از مطرح کردن این مفهوم، نتایج تجربی ویژگی‌های عالی حسگرهای CMOS را به عنوان ردیاب‌های ذرات از نظر سروصدای سیگنال، رزولوشن فضایی و کارایی ردیابی نشان دادند [19-21]. در کل علاقه به استفاده از حسگرهای CMOS به عنوان ردیاب ذرات از پخش چندگانه‌ی پایین آن به دلیل استفاده از لایه‌ی ردیاب نازک، رزولوشن فضایی بالا و تحمل مطلوب تشعشع ناشی می‌شود.

در یک CMOS APS (شکل 1b)، دیود با اتصال به VDD از طریق سوئیچ راه‌اندازی مجدد برعکس جهت‌دار شده‌است. در طی مرحله‌ی اکتشاف بار ایجادشده در دیود آنجا ذخیره می‌شود که ولتاژ را در دیود پایین می‌آورد. بهره‌ی تبدیل بار به ولتاژ G_{in} در ورودی از $1/C_{in}$ به دست می‌آید که C_{in} ظرفیت کلی گره ورودی است که بیش از همه با ظرفیت دیود و ظرفیت دروازه-به-منبع ترانزیستور ورودی تعیین می‌شود. یک محاسبه‌ی ساده نشان می‌دهد که:

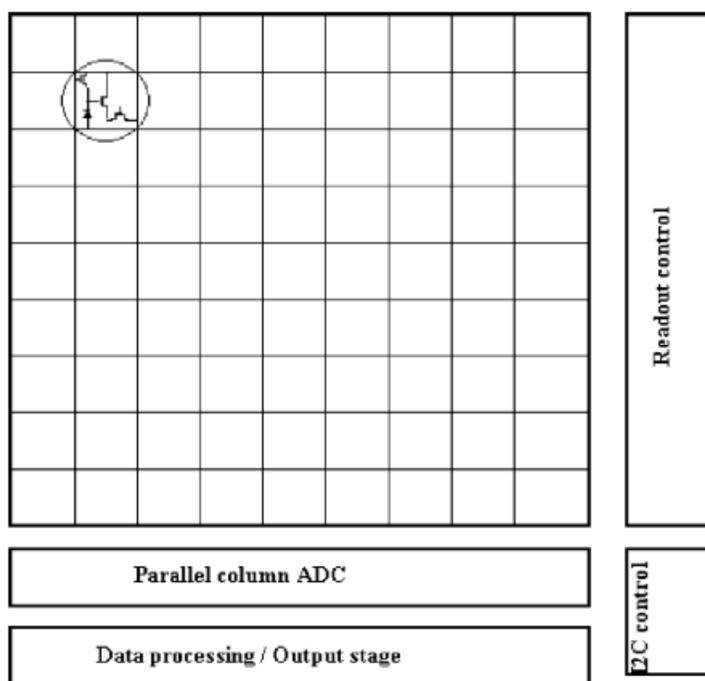
$$G_{in}(\mu V/e^-) = \frac{160}{C_{in}(fF)}$$

مقادیر معمول ظرفیت‌های ورودی در محدوده‌ی چند تا 10fF قرار دارند. تعقیب‌کننده‌ی منبع درون پیکسل نیز مقداری بهره‌ی ولتاژ دارد که معمولاً در محدوده‌ی 0/7 تا 0/9 است چرا که توده‌ی NMOS به زمین اتصال دارد. بهره‌ی خروجی تعقیب‌کننده‌ی منبع G_{out} بنابراین به این صورت محاسبه می‌شود:

$$G_{out}(\mu V/e^-) = AG_{in} = \frac{160A}{C_{in}(fF)}$$

میزان این بهره بین 10 تا 50 واحد قرار دارد.

در شکل 3 معماری یک ردیاب ستاره‌ی طراحی شده در RAL دیده می‌شود [22]. هر ستون دارای یک ADC 10 بیتی تک‌شیب است و تبدیل به صورت موازی در هر ستون انجام می‌شود. داده‌ها در یک گذر دیجیتال 10 بیتی خروجی می‌شوند. یک خروجی آنالوگ هم برای مقاصد آزمایشی گنجانده شده است. یک ماشین حالت سیگنال‌های کنترل، به ویژه راه‌اندازی مجدد و نشانگرهای انتخاب ردیف، را ایجاد می‌کند. فاصله‌ی بین این دو زمان گنجاندن به کاررفته در حسگر را که با حالت شاتر گردان کار می‌کند، مشخص می‌کند.



شکل 3. معماری یک حسگر CMOS. پیکسل‌ها در ستون خوانده می‌شوند و داده‌ها به طور موازی دیجیتالیزه می‌شوند. در پیرامون، بلوک‌های دیگر می‌توانند برای کنترل مدارها و پردازش داده به کار گرفته شوند.

2- حسگرهای CMOS برای ردیابی ذرات

یک حسگر CMOS برای کاربردهای فیزیک ذرات باید شرایط به‌خصوصی را برآورده کند؛ متفاوت از کاربردهای نور مرئی.

فاکتور پرتشدن: همان‌طور که گفته شد کاربردهای نور مرئی نیازی به فاکتور 100٪ ندارند. اما این برای کاربردهای HEP واجب است. این امر می‌تواند با ساختاری که ذکر آن رفت حاصل شود.

سیگنال: ذرات یونیزه‌شونده‌ی حداقل (MIP) حدود $80e/h$ جفت در هر میکرون ایجاد می‌کنند. بخش ردیابی در یک حسگر CMOS در اصل لایه‌ی همبافته است. سوبسترای زیرین نیز کمی همکاری می‌کند. این را می‌توان با انتشار حامل‌ها از سوبسترا به لایه‌ی همبافته با کمک لایه‌ی تخلیه‌ی کوچکی که در اثر اختلاق پتانسیل سطح مشترک ایجاد می‌شود توضیح داد [23-25]. در تخمین اول ضخامت لایه‌ی همبافته میزان بار ایجادشده را تعیین می‌کند. ضخامت این لایه از فناوری ساخت نشأت گرفته و از چند تا 20 میکرون است. در مدارهای میکروالکترونیک استاندارد ضخامت لایه با افزایش مقیاس کاهش می‌یابد چرا که لایه‌ی نازک‌تر بهتر جفت می‌شود [26]. برای حسگرهای تصویر ضخامت لایه برای جذب نور مهم است، مثلاً برای نور قرمز بین $2/5$ تا 4 میکرون است. این نیاز حسگرهای نور مرئی را به لایه‌های جذب نسبتاً ضخیم توجیه می‌کند. نتیجه‌ای که از این مبحث می‌گیریم این است که سیگنال بار مورد انتظار برای حسگرهای CMOS در HEP در محدوده‌ی حدود 1000 الکترون قرار دارد. این بدون در نظر گرفتن بار پخش شده روی پیکسل‌ها است.

سروصدای زمانی: نیازمندی‌های مربوط به صدا را می‌توان از تعداد کم ضربه‌ها دانست. فرکانس نسبی ضربات سروصدا f_{noise} می‌توان با آمار صفر متقاطع به دست آورد [27]. یک نمونه‌ی ساده‌شده برای فیلتر میان‌گذر عبارت است از:

$$f_{noise} = 2f_0 \exp\left(-\frac{V_{th}^2}{2\sigma^2}\right)$$

که در آن f_0 فرکانس مرکزی فیلتر، V_{th} ولتاژ آستانه و σ انحراف معیار ولتاژ سروصدا است. با در نظر گرفتن نصف فرکانس بالاگذر به عنوان فرکانس مرکزی فیلتر میان‌گذر فرمول مزبور می‌تواند برای محاسبه‌ی دانسیته‌ی سروصدا و بنابراین تعداد ضربات سروصدا برای تعداد معینی از پیکسل‌ها به کار رود. جالب است که گفته‌شود که تعداد ضربات سروصدا با زمان گنجاندن و فرکانس فیلتر متناسب است. فرکانس فیلتر نیز البته در تعیین سروصدا زنجیره‌ی بازخوانی مهم است. بسته به پارامترهای واقعی سیستم بازخوانی، آستانه‌ای که در آن دانسیته‌ی ضربات سروصدا حدود 10^{-5} است در بازه‌ی 5-10 قرار دارد. می‌توانیم نتیجه بگیریم که با در نظر گرفتن سیگنال چندصد الکترون در پیکسل (پس از پخش بار) صدا باید زیر $50e^{-} rms$ باشد. این باید شامل سروصدای ناشی از عدم یکنواختی پاسخ حسگر نیز باشد.

در حسگر CMOS منبع اصلی سروصدا kTC یا سروصدای راهاندازی مجدد است. این سروصدا هنگامی ایجاد می‌شود که یک ظرفیت C از طریق یک مقاومت R به یک ولتاژ خاص برمی‌گردد. مقاومت الکتریکی یک سروصدای گرمایی دارد که دانسیته‌ی طیفی قدرت سروصدای ولتاژ دوطرفه‌ی آن $2kTR$ است. شبکه‌ی RC این سروصدا را فیلتر کرده و قدرت سروصدای ولتاژ کلی kT/C می‌شود. از آنجا که رابطه‌ی ولتاژ به سروصدا از طریق ظرفیت C است سروصدای معادل بار ایجادشده عبارت است از:

$$ENC_{reset}^2 = kTC.$$

در دمای اتاق این سروصدا به این شرح می‌شود:

$$ENC_{reset}(e^- \text{ rms}) = 12.7\sqrt{C(fF)}.$$

در یک حسگر CMOS، R توسط ترانزیستور راهاندازی مجدد تعیین می‌شود و C ظرفیت کل در گره ورودی است. در نتیجه سروصدای معمول بین 30 تا $50e^- \text{ rms}$ است.

این سروصدا را می‌توان از دو راه کاهش داد. راه اول بر اساس نمونه‌برداری مرتبط است. ولتاژ روی دیود نخست یک بار پس از راهاندازی مجدد و سپس یک بار پس از ایجاد تصویر نمونه‌برداری می‌شود. نخستین نمونه توسط سروصدای راهاندازی مجدد تعیین می‌شود و نمونه‌ی دوم مجموع این سروصدا و صدای سیگنال است. بازخوانی افتراقی دو نمونه سیگنال را بدون سروصدای اضافی به دست می‌دهد. البته بازخوانی افتراقی منابع دیگر سروصدا را بیشتر می‌کند ولی همان‌طور که بحث خواهد شد چندان مهم نیست. این تکنیک، نمونه‌برداری دوگانه‌ی مرتبط¹ (CDS) و یک تکنیک شناخته‌شده برای کسانی که با ابزار تصویربرداری به ویژه CCD کار می‌کنند، می‌باشد.

راه دوم کاستن سروصدا استفاده از شم‌های راهاندازی مجدد فعال است. بیشتر این تکنیک‌ها با محدود کردن باند سیستم کار می‌کنند، به طوری که شبکه‌ی فیلترینگ با شبکه‌ی RC اصلی متفاوت باشد [7، 29-31]. باید توجه کرد که به دلیل عملیات محدود کردن باند فرایند راهاندازی مجدد بیشتر طول خواهد کشید. این درباره‌ی بازخوانی‌های سریع در سیستم‌های فیزیک پرنرژژی محدودیت مهمی است. یک محدودیت دیگر ناشی از نیاز به کارایی 100٪ است. تاکنون این محدودیت انتخاب را به دیود نشان داده‌شده در شکل 2 محدود می‌کند. این منجر

¹ Correlated Double Sampling

به یک محدودیت در الکترونیک پیکسل‌های NMOS می‌شود که یعنی یک انتخاب ساختاری محدود برای معماری پیکسل در دسترس است. این محدودیت را می‌توان با کاربرد فناوری‌های موجود سه‌جایگاهی حل کرد. در اکثر سیستم‌ها سروصدای بازخوانی را می‌توان به زیر $10e^- \text{ rms}$ کاهش داد (مثلاً [21]). یک منبع دیگر سروصدا جریان تاریک است. در یک فرایند مدرن بهینه نشت جریان برای یک پیکسل 20 در 20 میکرون حدود e^- 1000/s است. سروصدای معادل بار عبارت است از:

$$ENC_{\text{leakage}} = \sqrt{I_{\text{leakage}} T_{\text{int}}}$$

این به سروصدای $1e^- \text{ rms}$ در زمان گنجاندن 1ms منجر می‌شود.

سروصدا/الگوی ثابت (FPN): در فیزیک پرانرژی، که جلوگیری از صفر شدن در اکثر کاربردها مورد نیاز است، یک منبع مهم سروصدا FPN است. این حاصل از ایده‌آل نبودن اجزا است. یک تمایز عمده بین FPN پیکسل و ستون وجود دارد. FPN پیکسل حاصل از پخش پارامترها در ترانزیستورهای درون پیکسل است و اصولاً در اثر پخش آستانه در ترانزیستور راه‌اندازی مجدد و ورودی تعقیب‌کننده‌ی منبع و نیز توزیع بهره در تعقیب‌کننده‌ی منبع ایجاد می‌شود. FPN ستون از پخش پارامترها در تقویت‌کننده‌های ستون حاصل می‌شود. تصحیح FPN ستون کمتر بحرانی است چرا که در پیرامون مدار فضای بیشتری برای مدارهای تصحیحی اضافی وجود دارد. تصحیح FPN پیکسل بحرانی است و مجدداً می‌تواند با CDS حاصل شود. یک ساختار ساده در بخش بعدی معرفی شده‌است:

محدوده‌ی دینامیک: در کاربرد نور مرئی یک محدوده‌ی دینامیک بالا مورد نیاز است. ظرفیت کامل جایگاه که معمولاً حدود 10^5 الکترون است به کار گرفته می‌شود. در ردیابی MIPها یک محدوده‌ی دینامیک کوچک مورد نیاز است. این یعنی برای تقویت پیکسل‌ها فضا وجود دارد. تقویت‌کننده‌های معکوس را تنها با ترانزیستورهای NMOS می‌تواند طراحی کرد. از آنجا که گره خروجی به ترمینال امپدانس پایین ترانزیستور متصل است، بهره‌ی کلی از نسبت رسانایی متقابل به دست می‌آید [7]. به عنوان تخمین اولیه، بهره از نسبت بین نسبت تصویر ورودی به ترانزیستورهای بارگذاری حاصل می‌شود که به خاطر فضای محدود موجود در پیکسل و عدم وجود محدودیت برای بهینه‌سازی سروصدا به مقادیر پایین محدود است.

گزینه‌ی دیگر استفاده از مقاومت الکتریکی بایاس است. مقاومت‌های الکتریکی بالا برای به دست آوردن بهره‌ی بالای حلقه‌باز مورد نیازند. بهره‌ی باز-به-ولتاژ در این مورد کاملاً تحت تأثیر اثر تقویت‌کننده بوده و با ظرفیت بازخورد مؤثر تعیین می‌شود. پخش ناشی از استفاده از ظرفیت‌های اندک را می‌توان با استفاده از شبکه‌های T کاهش داد [32].

سرعت بازخوانی و کاهش داده‌ها: در بیشتر کاربردها میزان بازخوانی برای حداکثر قدرت بازخوانی حسگر بسیار بالا است. سرعت بالای بازخوانی و کاهش داده‌ها لازم است. جالب است بدانید که برای طراحی تسلا پرتو در هر 200ms تنها 1ms فعال است. داده‌ها را می‌توان در پیکسل با سرعت بالا نمونه‌برداری کرد و سپس در طول مرحله‌ی بدون پرتو بازخوانی کرد. همان‌طور که در دوربین‌های فوق سریع انجام می‌شود [33، 34].

مساحت پوشش حسگر: این در فیزیک پرانرژی مسأله‌ی مهمی است. در طراحی میکروالکترونیک اندازه‌ی مدار با اندازه‌ی عدسی دوربین محدود می‌شود. این معمولاً در محدوده‌ی 2cm قرار دارد. البته هیچ محدودیت فنی‌ای برای استفاده از عدسی‌های بزرگتر برای به دست آوردن حسگرهای بزرگتر نیست. به جای آن، می‌توان با فضای مرده‌ی بین عدسی‌ها (کمتر از 100 میکرون) مدارا کرد و حسگرهای مختلف را روی یک سوپسترا نگاه داشت. این احتمالاً کم‌هزینه‌ترین راه حل برای حسگرهای فیزیک پرانرژی است که در آن تکرار می‌تواند در ردیابی کلی لحاظ شود. هر فناوری‌ای که برای حسگرهای با پوشش بالا به کار رود، یک حسگر با پوشش کامل قطعه‌ی الکترونیک می‌تواند طراحی شود. فناوری مدرن عمیق زیر-میکرون از قطعات 8 اینچی (200mm) استفاده می‌کند و در حرکت به سمت 12 اینچ (300mm) است. در طراحی یک حسگر با مساحت پوشش بسیار بالا، باید ملاحظات بازدهی را در نظر گرفت و کمی تکرار برای حصول یک بازده خوب قائل شد.

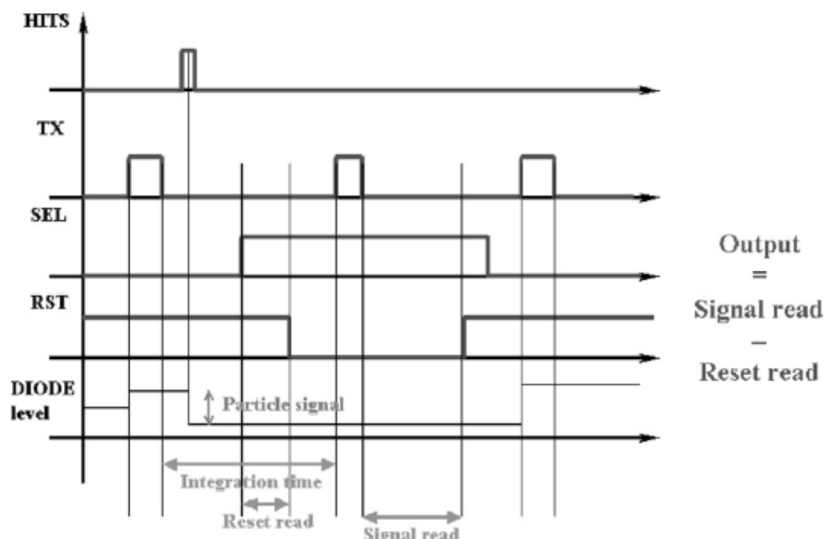
3- معماری پیکسل برای HEP

همان‌طور که توضیح داده شد، در کاربردهای HEP برای کاهش سروصدای kTC و FPN، CDS لازم است. در یک ساختار 3-ترانزیستوری خط زمینه (شکل 1b) کاهش FPN با نمونه‌برداری سیگنال، راه‌اندازی مجدد پیکسل، نمونه‌برداری میزان راه‌اندازی مجدد و اندازه‌گیری اختلاف این دو مقدار حاصل می‌شود. سروصدای راه‌اندازی مجدد با ضریب $\sqrt{2}$ افزایش می‌یابد چرا که دو نمونه به هم مربوط نیستند. CDS برای کاهش سروصدا در سطح قابل مدیریت در یک تجربه‌ی بزرگ لازم است.

آزمایشگاه Rutherford Appleton در همکاری با دانشگاه‌های لیورپول و گلاسکو و کالج سلطنتی لندن یک برنامه‌ی R&D برای توسعه‌ی حسگرهای CMOS برای کاربردهای HEP ترتیب داده‌است. در این برنامه فناوری‌های عمیق زیر-میکرون به دلیل نفوذناپذیری ذاتی تشعشعی‌شان به کار گرفته‌شدند [35، 36]. نخستین نمونه‌ی اولیه‌ی حسگر (RAL HEPAPS1) در یک CMOS استاندارد 0/25 میکرونی طراحی شد. ضخامت لایه‌ی همبافته در این فناوری به حدود 2 میکرون محدود است که نشان می‌دهد سیگنال کلی حدود $200e^-$ از یک MIP مورد انتظار است. هدف این نمونه‌ی اولیه در اصل آزمون عملکرد الکترونیک ساختار جدید پیاده‌شده است.

حسگر شامل 8 آرایه، هر یک 8 در 8 پیکسل در یک زمینه‌ی 15 میکرونی با یک خروجی آنالوگ است. چهار آرایه‌ی اول از یک دیود نوری و چهارتای دیگر از دروازه‌ی نوری به عنوان عنصر ردیابی استفاده می‌کنند. در آرایه‌های دیوددار معماری خط زمینه در سه تای آنها پیاده شده‌است: اولی یک دیود n/p دارد، دومی چهار دیود متصل به صورت موازی و سومی یک خط فلزی در امتداد دیود دارد. یک گام ولتاژ می‌تواند به این خط اعمال شود تا با هدف کالیبراسیون بار به پیکسل تزریق شود.

آرایه‌ی چهارم این گروه دارای یک ساختار 4-ترانزیستوری است (شکل 1c). دیاگرام زمان‌بندی در شکل 4 دیده می‌شود. نخستین پالس در ترانزیستور TX دیود را راه‌اندازی مجدد می‌کند. در همین زمان فرایند تشکیل تصویر آغاز می‌شود. رسیدن یک ذره به حسگر در دیود ورودی یک گام منفی ایجاد می‌کند. در انتهای مرحله‌ی گنجاندن، پیکسل برای بازخوانی انتخاب می‌شود. ابتدا مقدار راه‌اندازی مجدد نمونه‌برداری می‌شود. سپس راه‌اندازی مجدد آزاد می‌شود و دومین پالس TX اعمال می‌شود. این بار جمع‌آوری شده را به ورودی تعقیب‌کننده‌ی منبع درون پیکسل انتقال می‌دهد. ولتاژ اینجا مجموع مقدار راه‌اندازی مجدد و بار جمع‌آوری شده است: با کم کردن مقدار راه‌اندازی مجدد، سیگنال ناشی از ذره به دست می‌آید. در نتیجه سروصدای راه‌اندازی مجدد و FPN آمده از تنوع آستانه در راه‌اندازی مجدد و ترانزیستورهای ورودی حذف می‌شوند.



شکل 4. دیاگرام زمان بندی پیکسل 4-MOS با دروازه‌ی انتقال

در حسگر بر اساس دروازه‌ی نوری تنها تفاوت بین آرایه‌ها ابعاد و الگوی دروازه‌ی نوری است. در این معماری یک دروازه‌ی انتقال نیز لحاظ شده‌است و عملکرد پیکسل بسیار شبیه عملکرد آرایه‌ی تک سلولی CCD با تقویت کننده‌های منفرد است.

4- نتیجه‌گیری

حسگرهای یکپارچه‌ی پیکسل فعال (MAPS) که در یک فناوری استاندارد VLSI CMOS اخیراً به عنوان یک ردیاب پیکسل فشرده برای ردیابی ذره‌ی باردار پرانرژی در کاربردهای نقطه/ردیابی مطرح شده‌است. MAPS که حسگرهای CMOS هم نامیده می‌شوند، هم‌اینک نیز به طور گسترده در کاربردهای نور مرئی به کار می‌روند. در قیاس با فناوری‌های تصویربرداری رقیب، حسگرهای CMOS مزایای بالقوه‌ی زیادی از نظر هزینه‌ی پایین، مصرف انرژی پایین، صدای کمتر در سرعت‌های بالا، دسترسی اتفاقی به پیکسل‌ها که انتخاب یک ناحیه‌ی خاص از عکس را ممکن می‌سازد و توانایی یکپارچه‌سازی توابع مختلف روی یک چیپ دارا هستند. همه‌ی اینها با هم مفهوم «دوربین روی چیپ» را ایجاد می‌کنند. به دلیل این مزایا و هزینه‌ی پایین حسگرهای CMOS این حسگرهای به فناوری غالب برای کاربردهای مختلف مخصوصاً تصویربرداری متحرک تبدیل شده‌اند [37].

در این مقاله، ما استفاده از حسگرهای CMOS را در فیزیک ذرات مرور کرده و عملکرد آنها را از لحاظ کارایی (فاکتور پرشدن) تولید سیگنال، سروصدا، سرعت بازخوانی و پهنه‌ی حسگر بررسی کردیم. در بیشتر کاربردهای فیزیک پرانرژی در مرحله‌ی اولیه‌ی پردازش داده پیش از انتقال داده به نوار، کاهش داده در حسگر نیاز است. به

خاطر تعداد زیاد پیکسل‌ها، کاهش داده در داخل حسگر یا خارج آن لازم است. این نیازهای مهم درباره‌ی سروصدای زمانی و نیز یکنواختی حسگر را که به عنوان سروصدای الگوی ثابت (FPN) شناخته می‌شود فراهم می‌کند. یک معماری پیکسل با یک ترانزیستور افزوده پیشنهاد شده است. این معماری به همراه نمونه‌برداری دوگانه‌ی مرتبط از سیگنال (CDS)، امکان حذف دو منبع مهم سروصدا یعنی صدای راه‌اندازی مجدد یا kTC و FPN را ایجاد می‌کند. یک نمونه‌ی اولیه در یک فناوری CMOS استاندارد $0.25\mu\text{m}$ طراحی شد. این طراحی همچنین شامل یک ساختار برای کالیبراسیون الکتریکی حسگر است. نمونه‌ی اولیه کاربردی بوده و تست‌های دقیق در حال انجام است.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی