



sCMOS наращивает темп...

И вот, мы снова здесь, готовы обсуждать изрядно приевшуюся тему борьбы ПЗС и КМОП технологий, но с той весомой разницей, что теперь роли их поменялись местами, и надоедливое сравнение отливает сегодня совсем другими красками.

Действительно, прошло уже неприлично много времени со дня, когда КМОП включились полноценно в борьбу за доминирование на рынке сенсоров изображения, начав с наименее серьезных областей, тем не менее, массовых. Это сделало имя условно новой технологии, добавив рассуждения о ней в тематические новостные ленты и научные публикации, с которых и берет свое начало давняя история сравнений и борьбы за солнце.

Кто-то еще делает ПЗС-камеры? Вот, что в большей мере можно услышать от потребителя сенсоров в 2020 году, когда на сайтах производителей комплексов и систем, равно как и поставщиков оптических компонентов, пропали вкладки и ссылки, ведущие в посвященные ПЗС-разделы. Хотя, как и прежде, среди корифеев в области получения изображения для астрономии, космических исследований, молекулярной физики и изучения атома, найдутся те, кому роднее всего поверенные десятилетиями ПЗС.

Для приверженцев ПЗС основной зацепкой №1, как и прежде, остается оптический формат. Большие как динозавры матрицы, технологически такие же старые, сидят себе в отраслях, где если их не трогать, они не рассыпятся в пепел. И просто ждут прихода замены, достойной, перспективной, превосходящей, технически говоря, в всем настолько, что сравнение телефона Белла и современного “мобильного” было бы более уместно, говоря о их технических возможностях. Мы говорили о таких новинках, вышедших и намеченных для появления в 2020 году, расскажем обязательно в следующих материалах.

Тем временем, обратимся к другому оплоту ПЗС - технологий, позволяющему видеть в темноте или за пределами видимой человеком части электромагнитного спектра.

Посмотрим в сторону EMCCD, до недавнего времени боровшимся с научными КМОП-сенсорами sCMOS по степени чувствительности к единичным фотонам в условиях почти абсолютной изоляции от источников света, теперь лишенными такого права сопротивления. Согласно недавней информации от профессионалов-производителей EMCCD, технология заканчивает свой век. И даже при значительном для технологии HD-разрешении, применяя максимально возможный с точки зрения фактической эффективности усиления сигнала, коэффициент умножения электронов, такие датчики применимы в разработанных ранее, не требующих глубокой модернизации приборах, век которых продлен лишь высокой инертностью областей применений подобных устройств. Сегодня, спешно спешившись, оставив преданного вороного коня, производители EMCCD ищут рациональные, приемлемые для их конкретного

предприятия, пути для перехода к производству основанных на КМОП-технологии приборов для выполнения схожих, равно как и совершенно новых задач.

Снова КМОП? Все верно, ведь эта технология наиболее приспособлена для прогресса: ведь КМОП — это не только сенсоры, это великое множество полупроводниковых устройств, значительно более массовых в производстве, тем самым способствующих развитию технологии и технологической базы применяемых для производства сенсоров современных foundry. Собственно, сенсоры - одна из наименее ёмких групп приборов, производимых по КМОП-технологии, особенно если брать в расчет индустриальные датчики, и тем более, сенсоры для научных применений.

Так вот sCMOS пришли на смену научным ПЗС. Этот факт. Как и то, как BSI-технология в научной КМОП-индустрии революционным образом сломала оборону ПЗС, победоносно ворвавшись на рынок. И да, сегодня новейшие поколения “обычных” FSI-сенсоров показывают ошеломляющие результаты, довольно большие емкости пикселей при сверхнизких показателях шума, доходящих до порога в почти $1e^{-}$. И технологии двойного волновода отбирают у рассеянного хаоса все больше процентов структурированного, пойманного света даже, когда значительная часть фоточувствительной зоны пикселя закрыта электронной обвязкой. Такими мы встретили представителей нового поколения серии [GMAX](#), производимых компанией Gpixel, эти сенсоры с кадровым затвором, молниеносно-скоростные герои 2019 года, ворвались с самым компактным эффективным пикселем 2,5 мкм, задали тон рынку, заставили компании по всему миру спешно готовить подходящую, под стать им самим, малогабаритную оптику высокого разрешения.

Однако, не стоит забывать об особенностях применения микролинз, призванных собирать значительное количество света частично закрытых своей же обвязкой фронтальных пикселей. Микролинзы хороши для поглощения света, падающего под углом наиболее близкому к нормали к поверхности кристалла. И чем больше угол относительно такой условной нормали, тем больше света отражается от микролинзы, уменьшая фактическую эффективность поглощения полезного сигнала. А это критично как раз для большинства научных применений, включая Low-Light Imaging. Вспомним и о светопропускании применяемых “полимерных” микролинз, которые типично не пропускают высокоэнергетические фотоны с длиной волны менее 400 нм.

Так что, пока, BSI делает свое дело непревзойденно, работая в областях, требовательных к изображению, как никогда ранее. Никогда еще КМОП не подбирался к ПЗС так близко. Продемонстрировав квантовую эффективность в более, чем 95%, ранее, сенсор [Gpixel Gsense400BSI](#), первый BSI sCMOS-сенсор в мировой истории, уверенно занял эту нишу, подвинув неповоротливого предшественника значительно большей кадровой частотой, разрешением и простотой, удобством эксплуатации, т.е. тем, чем эта технология известна и зарекомендовала себя в других отраслях.

Сегодня, спустя годы, которые нам довелось потратить на знакомство и изучение оказавшихся уникальными возможностей того самого первого научного сенсора Gsense400BSI, мы день-за-днем открываем в нем новые, особенные свойства. Экспериментируем, получаем результаты осмысленные и не очень, проверяем, повторяем, делаем коллективные выводы. Сегодня Gsense400BSI во множестве своих

несерийных вариаций используется по всему миру: в НИИ, в компаниях передовиках своего направления, где изучают полученные результаты, и на основе такого коллективного КМОП-разума, рождаются истинные шедевры вроде представителей недавно анонсированной серии PulSar, расширяющие возможности BSI-линейки сенсоров в области VUV/EUV, Рентгеновского излучения и прямой детекции электронов. Это ли не чудо в определенном смысле?

Представленная технология PulSar (PS) расширяет возможности любого BSI-сенсора серии GSENSE, позволяя фиксировать излучение вакуумного и даже экстремального УФ, мягкое Рентгеновское излучение с квантовой эффективностью, достигающей 100%. Кроме прочего, такая технология демонстрирует превосходную стойкость к воздействию радиации.

Стандартные BSI sCMOS-датчики изображения Gpixel имеют проверенную репутацию в приложениях, требующих хорошей квантовой эффективности вплоть до длин волн дальнего УФ (FUV) (122-200 нм), а также в области детекции электронов с энергией в диапазоне от 1 кэВ до 10 кэВ. Однако, пассивирующий слой на поверхности этих датчиков сильно поглощает фотоны с более короткой длиной волны, ограничивая возможности в диапазонах VUV, EUV и мягкого рентгеновского излучения. Долгосрочные испытания также показали некоторую деградацию показателей.

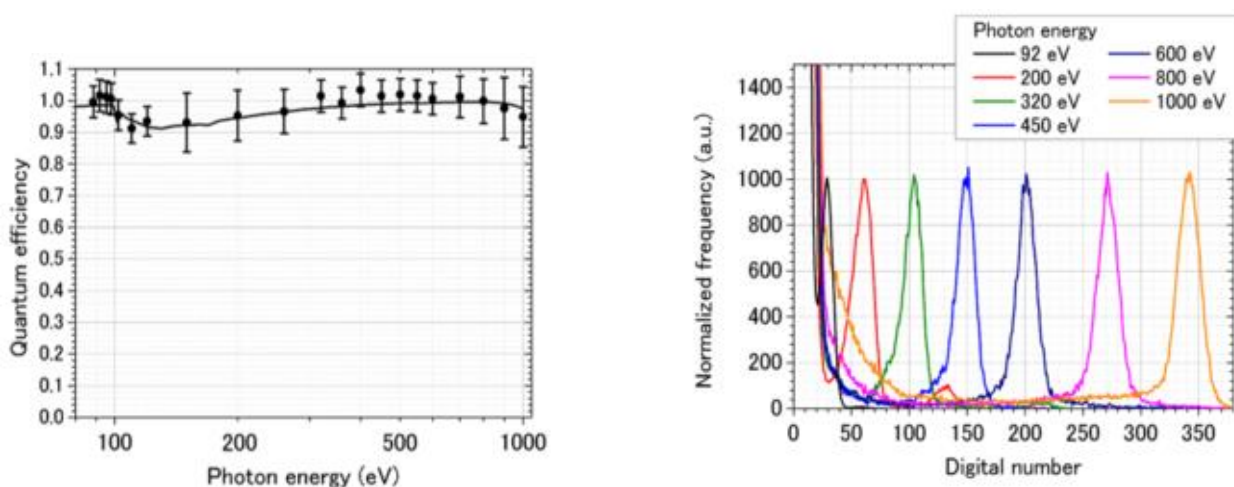
С новой технологией Gpixel PulSar (PS), сенсор лишен просветляющего покрытия, что в значительной степени увеличивает чувствительность в экстремальном УФ и мягком Рентгеновском излучении. Кроме того, теперь применяется новый тип пассивации для уменьшения толщины нечувствительного слоя на поверхности сенсора, снижающего темновой ток и увеличивающий сопротивление воздействию радиации.

Новые возможности сенсоров в области дальнего УФ вкупе с высокой кадровой частотой открыли новые возможности во многих областях науки, включая Рентгеновскую микроскопию, EUV-литографию. Особый интерес к сенсорам возник в области прямой детекции электронов. Так, ряд компаний, в ожидании появления новых электронно-чувствительных матриц, в том числе для сопряжения с ЭОП, не без удивления встретили новые сенсоры PulSar, выпущенные в компактном формате, на основе другого sCMOS сенсора с BSI-засветкой, [Gsense2020BSI-PS](#). Такие датчики открыли доступ к новейшей технологии для областей, где формат старшего брата с 11мкм пикселем и форматом

22.5x22.5 слишком велик. Тогда, как 1,2” сенсора Gsense2020BSI-PS, пиксель которого составляет всего 6,5 мкм, подходит как нельзя лучше для применений, критичных к габаритам и допускающих пониженные значения максимально накапливаемого сигнала.

На рисунках выше приведены кривые зависимости квантовой эффективности от энергии фотонов. Также, приведена гистограмма частот единичных событий для фотона в диапазоне 92-1000 эВ.

Итак, развивая направление научных КМОП-сенсоров, опираясь на их сильные стороны, усиливая их, мы, двигаясь в сторону работы с высокоэнергетическими частицами, максимально “очистили” материал, утонили, избавили его от всего лишнего,



в определенном смысле. Ведь в отличие от современных промышленных датчиков для применений в условиях достаточной освещенности и повышенной скорости движения регистрируемых объектов, или датчиков, применяемых в системах видеонаблюдения, чувствительных к ближнему ИК-спектру, с “толстым”, уверенным слоем кремния, увешанных поверх многочисленными элементами из необходимой обвязки, современные научные сенсоры отнюдь - максимально всего лишены. И пусть это звучит просто — это действительно необходимая и почти достаточная формула получения описанных уникальных результатов. Да, есть еще щепотка примесей, и для некоторых применений, необходимых защитных покрытий для чувствительной к атмосферным воздействиям, повернутой обратной стороной, поверхности кристалла. Но это ноу-хау в ближайшие годы останется скрыто от любопытных взоров, оставив загадкой ошеломительный результат, достигнутый командой Gpixel за годы тестирования их первого детища - первого sCMOS сенсора с обратной засветкой [Gsense400BSI](#).

Не стоит скрывать и то влияние, ту помощь, что оказало мировое сообщество на пути достижения полученных результатов. Да, вариантов перспективных, различных в своей концепции, порой основанных на голом опыте, было много. Каждый такой эксперимент - это полный цикл от разработки схемотехники сенсора, создания комплекта масок, выпуска той самой, каждый раз, долгожданной пластины, с последующей сборкой сенсоров, их характеристики, тестирования силами инженеров-разработчиков и, конечно же, силами партнеров в НИИ и дружественных компаниях по всему миру.

Уникален результат еще и потому, что не привел к созданию нескольких отличных сенсоров, но к созданию одного, применимого во всем изучаемом спектре задач, во всем востребованном наукой спектре электромагнитного излучения, от ближнего ультрафиолета, до Экстремального и Вакуумного, да и мягкое Рентгеновское излучение тоже ему по плечу. Но ведь и это еще не все, с задачей по прямой детекции электронов, т.е. фактически с работой электронно-бомбардируемого (EBCMOS) сенсора [Gsense2020BSI-PS](#), а вскоре и [GSENSE400BSI-PS](#), старший брат и прародитель, справляются без нареканий.

Что еще сказать, когда праздное любопытство интересуется, есть ли еще толк от сравнения канувших в лета ПЗС и современных, ежесекундно технологически и технически обновляемых КМОП-сенсоров, скажу вам, да, если пожелаете полакомиться эйфорией от безоговорочной победы последней. Но все же, лучше взять её в оборот и сделать что-нибудь важное для себя, для науки, для человечества. Почему нет. Пускай достижения не лежат на полках, не смущают иностранными фамилиями, но дают толчок развитию и желанию создавать больше и выше, и, главное, быть полезным.

Александр Шведов, НПК Фотоника.