



УФ-конверсионные покрытия фоточувствительных сенсоров.

В наши дни всё чаще встречаются сенсоры с обратной засветкой (англ. back-illuminated sensor, или backside illumination (BSI или BI). Превосходная чувствительность, значительно превосходящая показатели датчиков с фронтальной засветкой (англ. front-illuminated sensor, или frontside illumination (FSI или FI) и множество упростивших производство технологических решений позволило им проникнуть даже в такой широкий потребительский сегмент как камеры обычных мобильных устройств – например, смартфонов.

BSI сенсоры обладают рядом преимуществ, таких, например, как большой коэффициент заполнения и хороший угловой отклик, не считая ключевых: отсутствие нежелательного поглощения полезного сигнала и его рассеивания соответственно в диэлектрических и металлических коммутационных слоях. Такие датчики находят применение в различных узкоспециализированных направлениях: в космической аппаратуре, высокоскоростных камерах, линиях по отбраковке полупроводниковых пластин, медицине для определения раковых заболеваний, системах контроля трафика и помощи на дороге, и многих других.

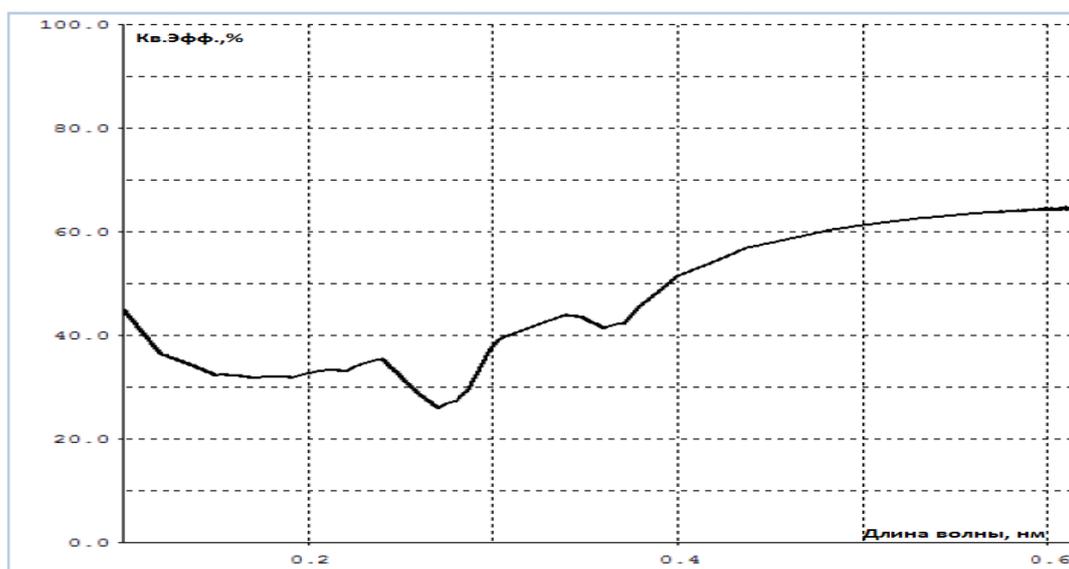


Рис. 1. Спектральная чувствительность BI-сенсора без просветляющего покрытия.

Для минимизации нежелательных отражений и увеличения количества захватываемого света применяют специальные просветляющие покрытия (англ. Anti-reflective coating или ARC), которые позволяют выделить для пропускания необходимый для каждого конкретного случая диапазон спектра. Нанесение покрытия происходит на завершающем этапе обработки полупроводниковой пластины – это часть процесса утонения подложки (т. е. создания необходимых условий для прохождения света с обратной стороны светочувствительной матрицы).

Типичным материалом для изготовления такого покрытия является нитрид кремния, применение которого обусловлено также его защитными свойствами, позволяющими оградить чувствительные к внешнему воздействию элементы от влияния высоких температур, повышенной влажности и механических повреждений. Однако такое покрытие непроницаемо для

ультрафиолетового излучения и части синего спектра, что резко ограничивает области применения сенсора.

Решение нашлось: повысив содержание азота в покрытии, удалось сохранить его защитные свойства, при этом значительно сократилась степень поглощения коротких волн, что, другими словами, делает сенсор более восприимчивым к УФ-части спектра, от 260 нм до 400 нм, при квантовой эффективности более 50%. Так и к без того длинному списку достоинств BSI технологии добавилось естественное, но оставленное прежде без внимания свойство – хорошая чувствительность к ультрафиолету.

В целом, подобное нововведение – закономерный и ожидаемый этап развития датчиков с обратной засветкой в условиях растущего интереса к УФ-направлению, включая не связанные с космосом гражданские и военные применения.

Полученные результаты довольно интересны, но применение технологии производства сенсоров с обратной засветкой делает такие изделия весьма дорогостоящими. Есть другой, более дешёвый и простой способ расширения чувствительности сенсора в УФ-область спектра – использование веществ, преобразующих УФ-излучение в волны видимого диапазона. Такой подход позволяет значительно сократить стоимость конечного изделия, поскольку за основу берётся сенсор с фронтальной засветкой.

Проблема, с которой приходится сталкиваться при использовании FI матрицы – низкая квантовая эффективность в УФ-диапазоне спектра, возникающая, как говорилось выше, по причине взаимодействия такого излучения с верхними, относительно подложки, слоями: рассеиванием и поглощением такого сигнала. Здесь на помощь приходят люминесцирующие синтетические вещества, а именно люминофоры, выпускаемые под названием люмогенов. Слой на основе такого материала, нанесённый на поверхность чувствительной матрицы, возбуждается падающим на поверхность матрицы УФ-излучением и испускает волны видимого спектра, с регистрацией которых сенсор с фронтальной засветкой справляется предсказуемым, привычным образом.

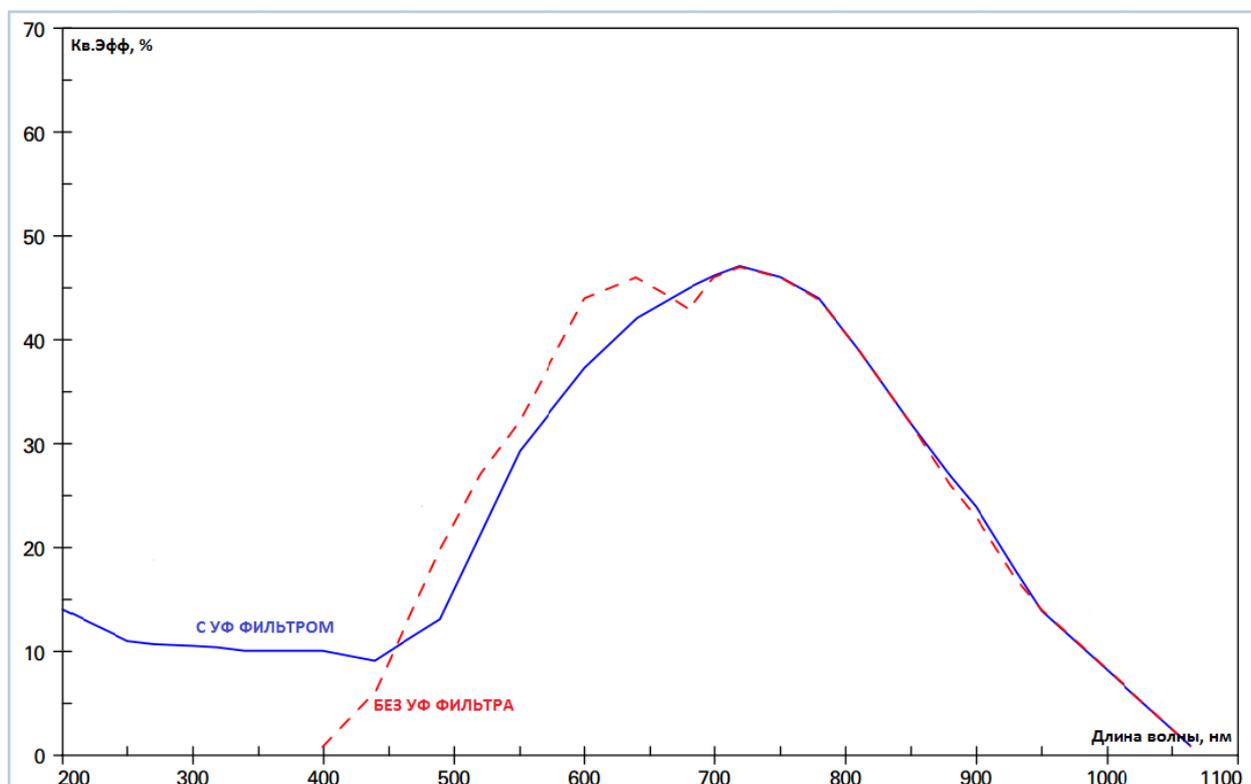


Рис. 2. Спектральная чувствительность FI сенсора с УФ-фильтром и без него.

Такой фильтр насыщается УФ-излучением с длиной волны от 200 до 460 нм с собственным излучением в диапазоне 500-650 нм. С учётом рассеивания люмогеном до 50% падающего на поверхность устройства ультрафиолета, квантовая эффективность прибора в области коротких волн может достигать 30%, при эффективности сенсора в видимом диапазоне 60%. Понижение рабочих температур сенсора с таким покрытием так же способствует увеличению его чувствительности.

Влияние УФ-фильтра на собственную чувствительность сенсора в видимом и ближнем ИК-регионе минимально, как видно на рисунке 2, что позволяет применять покрытие матрицы люмогеном для расширения диапазона чувствительности сенсора с фронтальной засветкой.

Стоит обратить внимание на толщину и равномерность нанесения люминофора, поскольку от этого зависит картина однородности захватываемого изображения. Следует также отметить возможность деградации люмогена при особо длительной экспозиции, что нельзя не учитывать в вопросе выбора применения. Воздействие на покрытие высоких температур и вовсе губительно и влечёт необратимые изменения в структуре фильтра. Поэтому к необходимым условиям эксплуатации и хранения таких приборов можно отнести обязательный контроль состояния окружающей рабочей среды для получения точных и воспроизводимых результатов.

В целом, оценивая достоинства и недостатки подобных модифицированных систем, не стоит забывать об их происхождении. Будучи основанными на матрицах, наиболее чувствительных в видимом спектре света, расширение их функционала в УФ-область – лишь полезное для ряда применений дополнение, способное расширить линейку существующих систем без значительных технических и временных затрат.

В материале использованы результаты опубликованных исследований компаний IMEC и e2v.

Александр Шведов, НПК «Фотоника».