

Новая дисплейная технология IGZO компании Sharp

Компания Sharp в 2012 году впервые в мире освоила производство TFT ЖК-дисплеев с активной матрицей на основе материала IGZO. В жидкокристаллических HD-панелях IGZO используются тонкопленочные транзисторы на основе аморфного полупроводника, представляющего собой оксид индия, галлия и цинка (Indium Gallium Zinc Oxide). Технология транзисторов IGZO была разработана специалистами Sharp в сотрудничестве с их коллегами из компании Semiconductor Energy Laboratory. Транзисторы IGZO обеспечивают характеристики, благодаря которым появляется возможность значительно уменьшить потребляемую мощность, увеличить разрешение дисплеев и улучшить характеристики сенсорных экранов. В статье приводится обзор технологии IGZO-TFT и новых ЖК-дисплеев на ее основе.

Александр САМАРИН

Введение

В первых ЖК-дисплеях с активной адресацией (1972 год) для формирования тонкопленочной матрицы транзисторов использовался селенид кадмия. Затем на долгие годы основным материалом активной матрицы в ЖК-дисплеях стал аморфный кремний (a-Si). Было ясно, что это далеко не лучший материал для формирования транзисторной матрицы: он имел массу недостатков. Основной из них — это маленькая подвижность основных носителей. Вследствие этого для обеспечения приемлемых токов управления транзистор активной матрицы в ЖК-дисплеях должен был иметь достаточно большие размеры. Это приводило к уменьшению апертуры пикселя. К тому же ток утечки транзисторов был очень большим. Тем не менее технология a-Si TFT имела другие преимущества, которые на долгие годы обеспечили ей доминирование. Это простота, низкая себестоимость и высокая повторяемость технологического процесса. Технологию активной матрицы на основе a-Si в настоящее время освоили сотни производителей. Используются также матрицы на основе поликристаллического кремния, но эта технология значительно сложнее и дороже, чем технология a-Si.

Поиски альтернативных материалов никогда не останавливались. За долгие годы технологи опробовали множество полупроводниковых материалов в качестве альтернативы a-Si.

Основная задача — обеспечить лучшие характеристики транзисторов активной матри-

цы, сохранив по возможности технологию a-Si. В первую очередь нужно было повысить ток транзистора в открытом состоянии (I_{on}) и уменьшить ток транзистора в закрытом состоянии (I_{off}).

Материал IGZO впервые был синтезирован и предложен японскими исследователями Н. Кимизука (N. Kimizuka) и Т. Мори (T. Mohri) в 1985 году. В дальнейшем изучением свойств этого материала активно занимались многие группы технологов во всем мире. Впервые материал IGZO для TFT-матрицы был опробован группой разработчиков Хидео Хосоно (Hideo Hosono) в 2004 году. Именно с оксидами металлов, имеющих полупроводниковые свойства, и экспериментировал Хидео Хосоно. Обладая аморфной структурой, оксидные полупроводники при этом имеют более подходящие для производства TFT-транзисторов свойства, чем гидрогенизированный a-Si. Гидрогенизированный a-Si осаждают, распыляя кремниевую мишень в водородсодержащей атмосфере.

Х. Хосоно экспериментальным путем нашел наиболее удачную смесь оксидов для создания TAOS-TFT. В ее состав вошли окислы индия, галлия и цинка ($InGaZnO$), сокращенно — IGZO. Пленки $InGaZnO$ формируют на кварцевом стекле, используя процесс импульсного лазерного осаждения (pulsed laser deposition, PLD), где в качестве мишени служит смесь порошков Ga_2O_3 , In_2O_3 и ZnO в соотношении 1:1:8. Спекание смеси порошков для формирования мишени производится в трубчатой печи при атмосферном давлении.

Технологический процесс нанесения IGZO-слоя на стеклянную подложку довольно сложен. Для создания требуемой структуры пленки (рис. 1) используется комбинация технологических процессов. Одно из достоинств технологии — все процессы не требуют использования высоких температур. На рис. 2 показана структура TFT IGZO-транзистора.

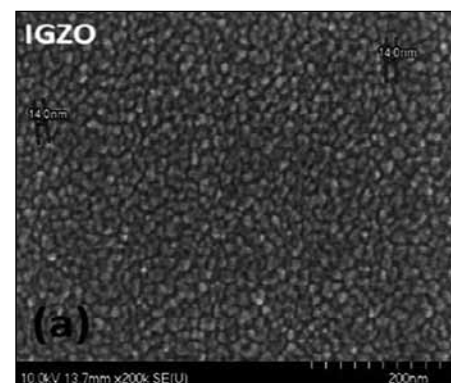


Рис. 1. Микроструктура аморфной пленки IGZO

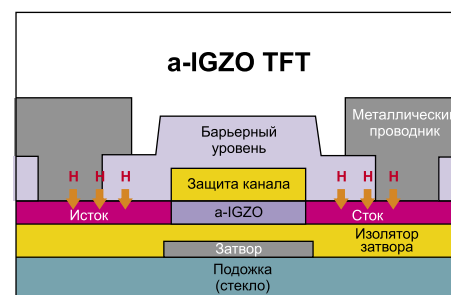


Рис. 2. Структура транзистора на аморфном IGZO

Процесс формирования TFT-структуры IGZO фактически точно такой же, как и для традиционной, на основе a-Si. Различие заключается только в способе нанесения пленки самого полупроводникового материала.

Сравнение базовых TFT-технологий для активной матрицы

В таблицах 1 и 2 приведены сравнительные характеристики различных базовых технологий, используемых в настоящее время для ЖК-дисплеев с активно-матричным управлением.

Характеристики TFT-транзисторов IGZO

Сравнительные передаточные характеристики TFT-транзисторов a-Si, LTPS и IGZO приведены на рис. 3.

Ток I_d нормализован по отношению к параметру W/L (ширина/длина зоны затвора). Несмотря на то, что LTPS-транзисторы имеют очень высокий ток для открытого состояния за счет высокой подвижности носителей, ток выключенного состояния для них недопустимо высокий, и даже выше, чем у транзисторов на основе a-Si. С другой стороны, за счет более высокой подвижности носителей заряда у материала IGZO более чем в 20 раз выше, чем у a-Si. Уже одно это качество позволяет значительно уменьшить размеры транзисторов матрицы, сохраняя прежние параметры по сравнению с a-Si. Кроме того, поскольку подвижность дырок при отрицательном смещении очень низкая, очевидно, что транзисторы IGZO обеспечивают идеальную характеристику для выключенного состояния. Исходя из этого, можно сделать вывод, что характеристики ON/OFF, обеспечиваемые транзисторами IGZO, существенно выше по сравнению с традиционными a-Si и LTPS.

На рис. 4а показаны характеристики TFT-транзисторов с использованием технологии

Таблица 1. Основные параметры транзисторов для разных технологий активной адресации

Параметры	Аморфный кремний	Микрокристаллический кремний (плазмохимическое осаждение)	Аморфный IGZO	LTPS (низкотемпературный поликремний)
Размер транзистора	Большой	Большой	Маленький	Маленький
Подвижность электронов	0,5–1	0,5–1	5–20	30–300
Стабильность	Высокая	Средняя, больше, чем у LTPS	Высокая, больше, чем у a-Si	Плохая
Однородность	Хорошая	Удовлетворительная	Хорошая	Плохая

Таблица 2. Сравнительные характеристики процессов получения транзисторов активной матрицы

TFT	IGZO	Аморфный кремний	LTPS / CG-кремний
Процесс	Аналогичный a-Si	Осаждение из газовой фазы	Сложнее, чем для a-Si
Полупроводник	Смесь In_2O_3 , Ga_2O_3 , ZnO	a-Si	Поликристаллический, или гранулированный кремний
Метод осаждения пленки полупроводника	Вакуумное распыление	Химическое осаждение из паровой фазы	Химическое осаждение из паровой фазы (затем лазерный отжиг)

вытравливания канала (channel etching, CE). В этом случае транзисторы IGZO имеют плотную однородность вследствие нестабильности процесса травления.

Если же использовать технологию с дополнительным стоп-процессом (etch stopper, ES), нестабильность можно значительно уменьшить. При использовании стоп-процесса пороговое напряжение (V_{th}) в диапазоне ± 1 В стабильно и неизменно для подложек раз-

мера G8. Значения тока для выключенного состояния при отрицательных смещениях на затворе ($V_g < 0$) были настолько малы, что даже не поддавались измерению.

На рис. 5 показаны результаты тестирования проверки надежности при испытаниях на постоянное смещение в сочетании с температурой. При низких и высоких значениях температуры была зафиксирована низкая зависимость смещения V_{th} по сравнению с a-Si.

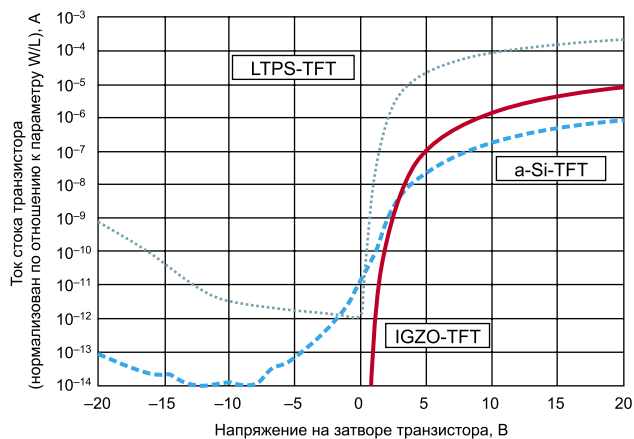


Рис. 3. Характеристики TFT-транзисторов: a-Si/LTPS и IGZO

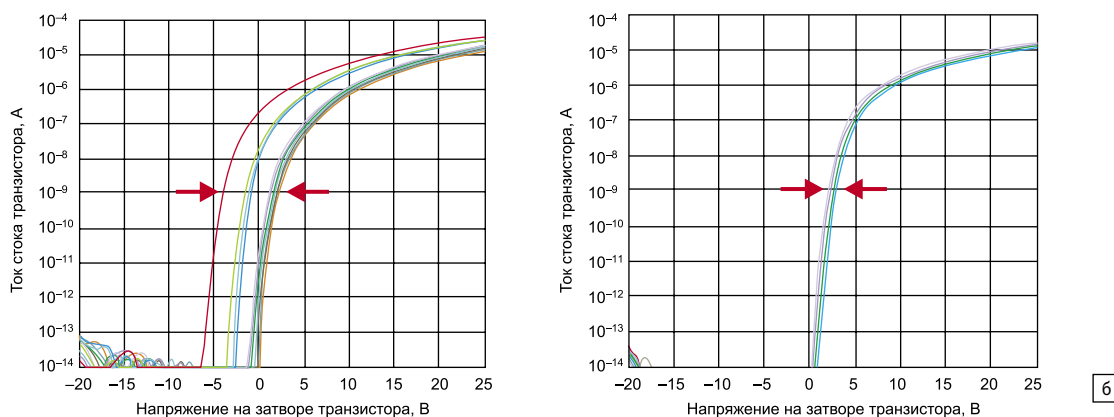


Рис. 4. Передаточные характеристики TFT-транзисторов, полученные с помощью технологий: а) CE; б) ES

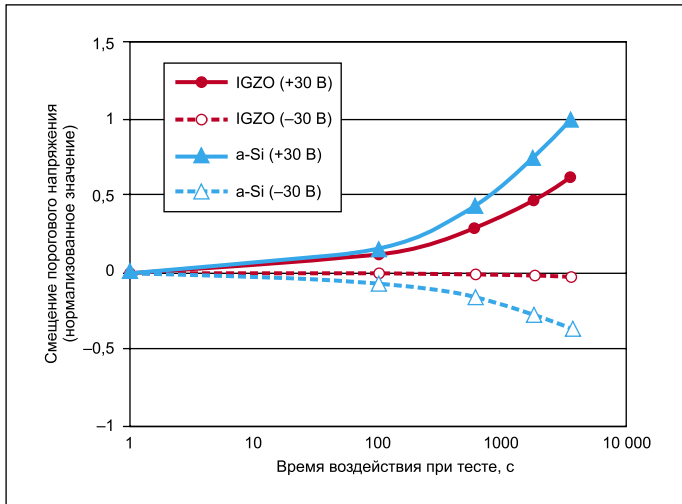


Рис. 5. Результаты теста проверки надежности (BT Test) IGZO по сравнению с a-Si

На рис. 6 представлены результаты проверки стабильности передаточной характеристики транзисторов ЖК-модуля при рабочей температуре +60 °С. Было выявлено незначительное изменение после 1000 ч работы. Таким образом, транзисторы IGZO-TFT доказали высокую надежность при работе в реальном ЖК-дисплее.

Развитие новых технологий на базе IGZO

Как было отмечено выше, преимуществами тонкопленочных транзисторов IGZO являются высокая подвижность основных носителей и сверхнизкий ток утечки транзистора в закрытом состоянии по сравнению с a-Si. Применение IGZO-технологии имеет хорошие перспективы в секторах производства:

- TFT ЖК-панелей высокого разрешения;
- мобильных устройств (снижение потребляемой мощности ЖК-дисплеев);
- сенсорных экранов.

Панели высокого разрешения

Более высокое разрешение панелей обеспечивается за счет уменьшения размеров транзисторов активной матрицы TFT благодаря высокой подвижности носителей заряда в материале IGZO (рис. 7б).

Соответственно, можно сделать меньше размер строчных и столбцовых шин матрицы и увеличить разрешение панели по сравнению с a-Si. Это решение может быть использовано как для панелей малых размеров, так и для больших экранов ЖК-телевизоров.

Компания Sharp разработала предварительный план создания ЖК-дисплеев высокого разрешения для различных секторов приложений, используя преимущества технологии IGZO. Разработана 32-дюймовая IGZO телевизионная панель с разрешением 3840×2160 пикселей, что соответствует плотности 140 пикселей на дюйм. Для мобильных компьютеров предназначена IGZO-панель размером 10 дюймов, имеющая разрешение 2560×1600 пикселей. Она имеет плотность 300 пикселей на дюйм. Семидюймовая IGZO-панель для планшетов имеет разрешение 800×1280 пикселей, с плотностью 217 пикселей на дюйм.

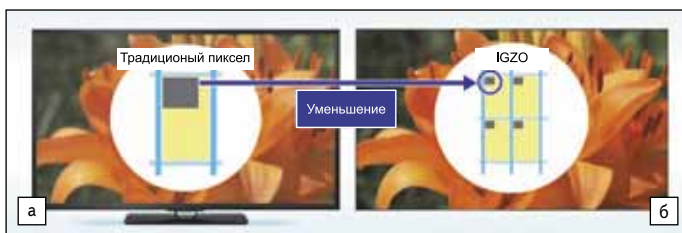


Рис. 7. Размеры транзистора: а) на аморфном кремнии; б) на основе IGZO

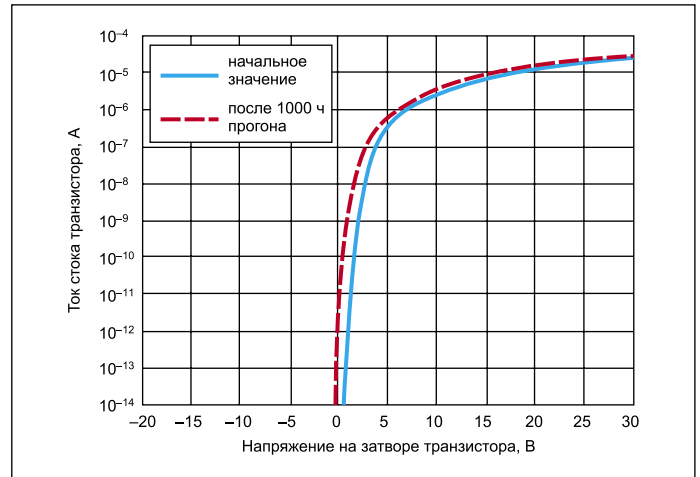


Рис. 6. Смещение передаточной характеристики IGZO-транзисторов при испытании на стабильность (Т = +60 °С, 1000 ч)

Снижение энергопотребления

Снижение энергопотребления для панелей с матрицей IGZO достигается за счет двух факторов. Первый из них — уменьшение размеров транзистора и увеличение коэффициента пропускания активной структуры по сравнению с традиционной структурой на a-Si. Для управления транзистором меньшего размера требуется меньше энергии (так как меньше емкость затвора). За счет уменьшения размеров транзисторов увеличивается коэффициент пропускания всего экрана. Кроме того, пленка IGZO имеет на 30% больший коэффициент пропускания, чем пленка a-Si. Следовательно, для того чтобы обеспечить ту же яркость изображения, можно уменьшить яркость подсветки и уменьшить энергопотребление.

Другой фактор, способствующий снижению энергопотребления еще в большей степени, — новый метод управления в сочетании с характеристиками транзисторов IGZO. В традиционном TFT ЖК-дисплее перезапись информации в элементы памяти транзисторной матрицы происходит с частотой 30–60 Гц, даже если изображение на экране неподвижное и неизменное. Регенерация с такой частотой необходима вследствие высоких токов утечки транзисторов матрицы. Для проведения каждого цикла регенерации затрачивается значительная энергия (перезарядка шин адресации, подкачка заряда на элементах памяти матрицы).

Динамика потребляемой мощности дисплейной панели a-Si с обычным методом управления показана на рис. 8.

За счет малой утечки транзисторов активной матрицы в закрытом состоянии можно снизить частоту регенерации, например для

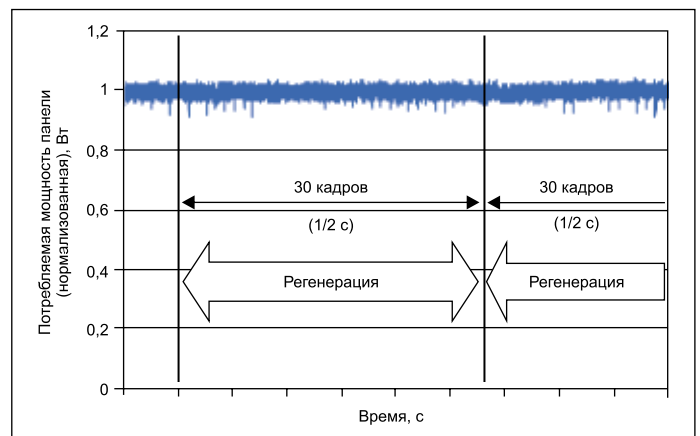


Рис. 8. Динамическая потребляемая мощность в традиционных ЖК-панелях с матрицей на основе a-Si (непрерывная развертка 30 Гц)

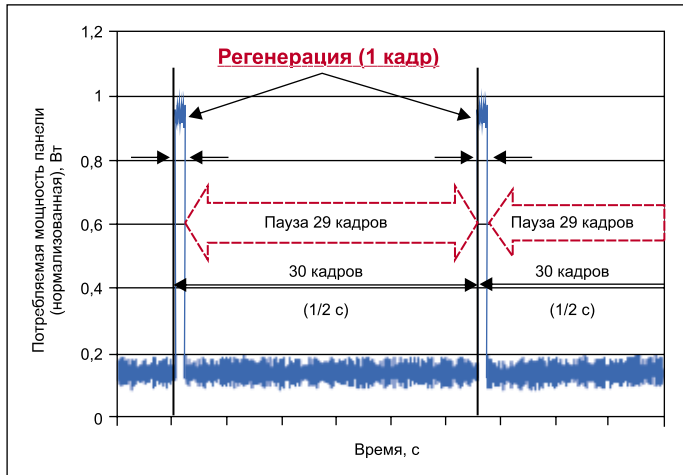


Рис. 9. Динамическая потребляемая мощность в ЖК-панелях с матрицей на основе IGZO и экономичной разверткой LPCD

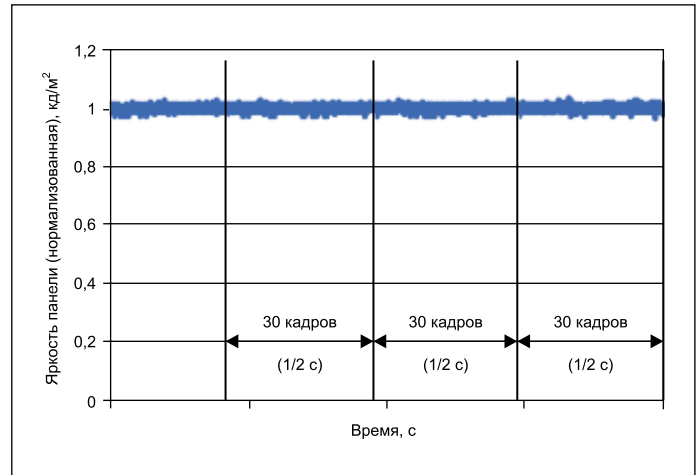


Рис. 10. Флуктуация яркости IGZO дисплейной панели при использовании метода развертки LPCD с частотой 2 Гц

неподвижного изображения. Этот дисплейный режим подходит для неподвижных картинок (отображение экранного меню, фото, текста). Идея метода не нова, но реализация его ранее была невозможна на традиционных панелях с матрицей из a-Si. Снижение частоты регенерации неподвижных изображений обеспечивает значительное уменьшение энергопотребления.

Технология LPCD (Low Power Consumption Driving) основана на использовании сверхнизких токов утечки IGZO-транзисторов управляющей матрицы ЖК-панели. На рис. 9 показана динамика потребляемой мощности для ЖК-панели с транзисторной матрицей IGZO. Частота регенерации изображения в дисплейной панели составляет 2 Гц (рис. 10).

Сокращение числа процессов перезаписи изображения обеспечивает значительное уменьшение потребляемой мощности по сравнению с традиционным методом управления, используемым в ЖК-панелях с a-Si активной матрицей.

Можно заметить, что при частоте развертки 2 Гц нет флуктуаций яркости на экране дисплея с IGZO-матрицей управления.



Рис. 11. Сравнение качества изображения на тестовом 10,8-дюймовом ЖК-дисплее формата FWXGA: а) обычная панель с матрицей a-Si; б) разработанная панель с матрицей IGZO-транзисторов

При индикации неподвижных картинок или экранной заставки с меню в мобильном телефоне можно значительно уменьшить частоту регенерации изображения и, следовательно, сократить потребление энергии. Новый 10,8-дюймовый IGZO-экран формата FWXGA показан на рис. 11. За счет более высокого коэффициента пропускания IGZO-экрана потребление уменьши-

лось на 1/3 по сравнению с обычным экраном на a-Si.

Сенсорные панели нового поколения

Чувствительность сенсорной панели определяется отношением полезного сигнала (от прикосновения) к шумовому сигналу. Дисплейная панель сама является источником высокочастотного шума. Матрица шин

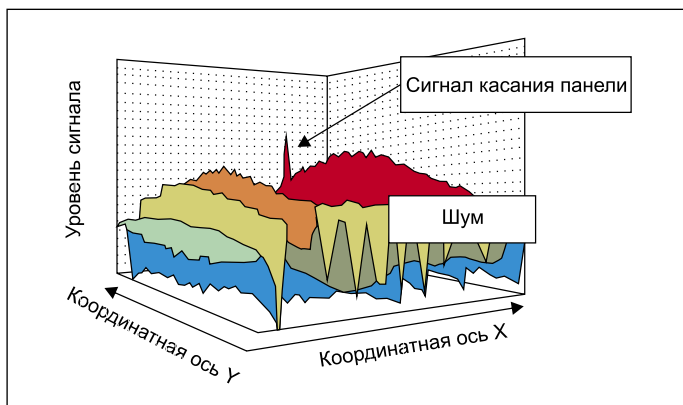


Рис. 12. Уровни полезного сигнала и шумов для сенсорной емкостной панели a-Si ЖК-панели с традиционной разверткой

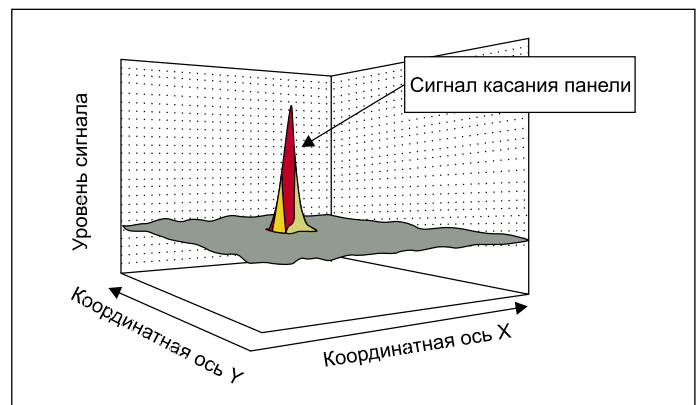


Рис. 13. Сигнальный рельеф для сенсорной панели ЖК-дисплея с IGZO-матрицей и новой системой сканирования



Рис. 14. Прототип сенсорной емкостной панели Sharp с высоким разрешением, реализованный для 10,1-дюймового WXGA ЖК-дисплея с технологией IGZO

адресации дисплея является излучающей антенной. Высокочастотные сигналы, сопровождающие перезарядку емкостей шин адресации, вызывают наводку на приемную антенну (сенсорная панель). При отсутствии регенерации шум дисплейной панели значительно уменьшается. Если сканирование сенсорной панели проводить в период паузы регенерации, то надежность определения координат прикосновения к сенсорной панели значительно возрастет.

Контроллер сенсорной панели прикладывает сигналы возбуждения к шинам X-оси. Сканирование сигнала отклика осуществляется по шинам Y-оси. Определение координат точек касания производится при анализе двумерного сигнального рельефа. На рис. 12 показан сигнальный рельеф, полученный при сканировании сенсорной панели традиционной a-Si ЖК-панели с обычной системой сканирования. По оси Z показан уровень сигналов (полезного и шума). Волны — шум от ЖК-дисплея, пик на их фоне — полезный сигнал прикосновения к поверхности тачскрина. Флуктуации формы волн зависят от изображения на экране. На рис. 13 видно, что полезный сигнал «тонет» в волнах помех от дисплейной панели, то есть отношение сигнал/шум очень низкое.

Очевидно, что при меньшем уровне шумов от матричной системы адресации IGZO ЖК-панели с LPCD обеспечивается лучшая чувствительность сенсорной панели. Поскольку при отсутствии развертки шум от дисплейной панели практически равен нулю, координаты места прикосновения к сенсорной панели могут быть определены с большей точностью.

На рис. 14 демонстрируется высокая чувствительность сенсорной панели при рисовании стилусом с диаметром кончика 2 мм. Уровень полезного сигнала при этом составляет всего 1/10 от сигнала при пальцевом касании поверхности экрана.

При традиционной технологии сканирования сенсорной панели и ЖК-дисплея точное определение координат касания было бы очень затруднительно.

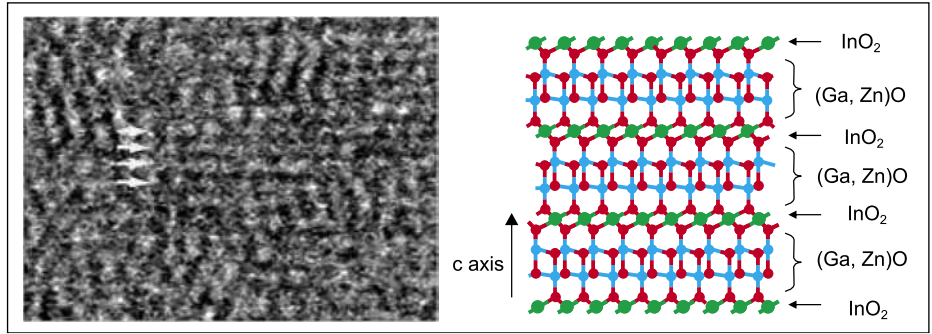


Рис. 15. Электронограмма (слева) и структурная модель пленки СААС-IGZO (справа)



Рис. 16. 13,5-дюймовый OLED-дисплей высокого разрешения (формат 3840x2160 пикселей) с транзисторной матрицей СААС IGZO

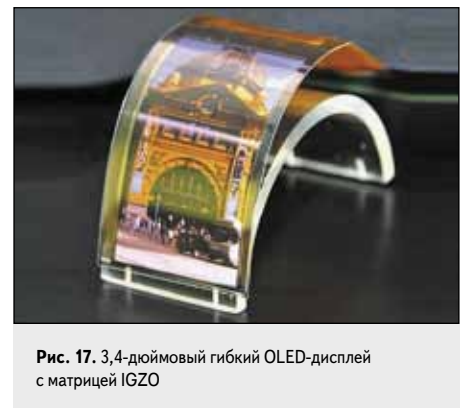


Рис. 17. 3,4-дюймовый гибкий OLED-дисплей с матрицей IGZO

Перспективы использования технологии IGZO

Технология IGZO-TFT со всеми ее достоинствами применима как для сектора дисплеев мобильных устройств, так и для большеформатных экранов ЖК-телевизоров. Применение ЖК-дисплеев IGZO в мобильных устройствах за счет новой технологии энергосбережения и высокого коэффициента пропускания экрана позволяет увеличить ресурс работы аккумуляторной батареи в 2,5 раза по сравнению с обычными TFT ЖК-дисплеями на основе a-Si, при этом сохраняется тот же уровень яркости изображения. Для мобильных устройств, использующих IGZO ЖК-дисплей с сенсорным экраном, обеспечивается возможность ввода рукописного текста и рисования стилусом за счет более высокой разрешающей способности и чувствительности.

Следующим этапом эволюции IGZO станет технология СААС-IGZO (C-Axis-Aligned-Crystal-IGZO), позволяющая реализовать микрокристаллическую структуру пленки (рис. 15) с ориентацией кристаллов вдоль оси C. Кристаллическая структура обеспечит лучшие характеристики TFT-транзисторов. Проект реализуется при участии Semiconductor Energy Laboratory и Sharp. СААС-технология использует тот же самый исходный материал, однако по оси C (перпендикулярное к плоскости пленки направление) имеет регулярную кристаллическую структуру, в то время как аморфная пленка a-IGZO имеет рыхлую структуру без определенной ориентации.

Однородность ориентации кристаллической структуры довольно высокая при отсутствии видимых границ микрзерен. Преимущества, обеспечиваемые технологией СААС:

- высокая однородность характеристик TFT;
- высокая надежность: малое смещение V_{th} при LBT-тестировании по сравнению с аморфным IGZO.

Эти преимущества СААС особенно востребованы для создания ЖК-панелей высокого разрешения и OLED-дисплеев (рис. 16, 17).

Заключение

Сверхмалый ток утечки транзисторов IGZO позволяет вывести дисплейную технологию на качественно новый уровень эволюции, что обеспечит возможность увеличения разрешения дисплеев, снижения потребляемой мощности и повышения чувствительности сенсорных панелей. Есть основания предполагать, что в ближайшее время усилия производителей ЖК-панелей будут сосредоточены на технологии IGZO.

Панели IGZO характеризуются повышенной яркостью, приближенным к экономичным OLED-экранам энергопотреблением, а также меньшей стоимостью, чем у аналогичных изделий. Позиции технологии TFT ЖК-дисплеев значительно укрепятся во всех секторах дисплейных приложений. Технология OLED вновь будет вытеснена с некоторых секторов приложений, уступив эти позиции ЖК-дисплеям, изготовленным по новой технологии IGZO.

Энергопотребление ЖК-дисплеев, изготовленных по технологии IGZO, лишь немногим превышает этот же параметр у дисплеев OLED, AMOLED и Super AMOLED, разработанных Samsung, а толщина экрана увеличится всего на 25%. И все это при заметно меньшей себестоимости.

Samsung купила 3% акций компании Sharp на сумму \$112 млн. Это позволит Samsung получить доступ к технологиям Sharp и ЖК-панелям. Соглашение с Sharp позволит Samsung использовать IGZO-дисплеи в своих устройствах.

Apple стала крупнейшим инвестором Sharp, вложив в технологию TFT IGZO миллиард долларов. На эти деньги Sharp построит

второй завод Kameyama, на котором будут производиться дисплеи IGZO. Чтобы справиться с растущим объемом заказов, Sharp собирается расширить производство, для чего на юге Китая будет построен новый завод. ■

Литература

1. Kataoka Y., Imai H., Nakata Y., et al. Digest SID'13. Development of IGZO-TFT and Creation of New Devices Using IGZO-TFT.. Sharp Corp. Mie, Japan. Semiconductor Energy Laboratory Co. Ltd. Kanagawa, Japan. Advanced Film Device, Inc. Tochigi, Japan.