



## Прорыв органических материалов в электронику

### на очереди – индикаторные устройства

*Н. Гузенкова*

*Уже недалеко то время, когда благодаря использованию полимерных материалов на рынке появятся дешевые сверхтонкие цветные индикаторы на гибких пластмассовых подложках, которые можно будет сворачивать в трубочку. На этой основе наверняка будут созданы и высокоинформационные дисплеи для персональных цифровых помощников, компьютеров и даже телевизоров. Правда, чтобы достичь этого, предстоит обеспечить высокую однородность свечения экрана, увеличить срок службы таких индикаторов и решить ряд других не менее сложных проблем. Пока же работы в этой области в основном сосредоточены на создании полимерных светоизлучающих диодов и индикаторных панелей для подсветки небольших ЖКИ, используемых в бытовой аппаратуре. Что же мы имеем на сегодняшний день?*

**В**первые сообщение об излучении в зеленой области спектра осажденного из газовой фазы органического материала (три-8-гидроксихинолина алюминия) появилось в 1989 году. В 1990-м на основе пленки полипарафениленвинилена (PPV) был изготовлен тонкопленочный полимерный светоизлучающий диод (СИД). Электролюминесценция органических материалов типа PPV, получивших название сопряженных, объясняется наличием у них полупроводниковых свойств, обусловленных перекрытием орбит электронов вдоль цепочки полимера. Перекрытие приводит к формированию валентной зоны и зоны проводимости — таких же, как и у полупроводникового материала. При подаче напряжения, превышающего пороговое значение, в валентную зону и зону проводимости инжектируются, соответственно, электроны и дырки, и происходит их рекомбинация. Величина порогового напряжения зависит от потенциального барьера, определяемого значениями работы выхода и сродством к электрону отрицательно заряженного электрода, а также от работы выхода и потенциала ионизации положительно заряженного электрода. Затухание образуемых в результате рекомбинации электронов проводимости и дырок валентной зоны синглетных и триплетных экситонов сопровождается высвобождением энергии (триплетных — тепловой, синглетных — световой). Длина волны светового излучения зависит от энергии синглетного экситона, т.е. от ширины запрещенной зоны материала, а яркость свечения — от инжекции электронов и дырок в материал.

Одна из важнейших проблем при создании полимерных электролюминесцентных панелей — выбор материала электрода, пригодного для инжекции электронов и дырок с одинаковой скоростью. Обычно электрод, предназначенный для инжекции электронов, выполняют из металла с относительно низкой

работой выхода, так как металлы с высокой работой выхода химически активны и легко взаимодействуют с кислородом окружающей среды. Такое взаимодействие приводит к отслоению электрода от полимера, образованию неизлучающих темных областей и деградации характеристик прибора.

Для решения этой проблемы много сделано специалистами фирмы Cambridge Display Technology (CDT, Великобритания). Сегодня они осваивают новую технологию, разработанную одним из первопроходцев в этой области — Кембриджским университетом. Ученые университета предложили использовать двухслойную гетероструктуру (слой PPV и переносящий электроны слой цианоPPV), на границе раздела которой вследствие разности энергий валентных зон и зон проводимости слоев возникает энергетический барьер. Гетероструктура заключается между прозрачным электродом из окиси индия-олова и алюминиевым электродом. Электроны, инжектируемые в цианоPPV, переносятся в область перехода, где и удерживаются потенциальным барьером. Это приводит к формированию с обеих сторон перехода пространственного заряда. Благодаря малой толщине гетероструктуры (0,1 мкм) электроны туннелируют через барьер и рекомбинируют с дырками. Поскольку полимер в поперечной плоскости не проводит ток, элементы изображения самоизолированы, т.е. включаются только при подаче сигнала на верхний и нижний электроды. Шаг элементов и, следовательно, разрешающая способность такой полимерной индикаторной панели зависят от разрешающей способности оборудования, используемого для создания рисунка электродов.

Яркость свечения полимерного излучающего диода с гетероструктурой фирмы CDT равна 10 кд/м<sup>2</sup> при напряжении 5 В и плотности тока 1 мА/см<sup>2</sup>. Частота переключения превышает 1 МГц, что отвечает требованиям, предъявляемым к

промышленным полупроводниковым СИД. Внутренний квантовый выход приборов составляет примерно 5% (для индикаторов на основе полупроводниковых СИД — 3%). Правда, срок службы полимерных диодов невелик — всего около 3 тыс. часов. Применяв соответствующую герметизацию и корпусирование, разработчики надеются увеличить его до 10 тыс., а затем и до 20 тыс. часов.

В конце 1997 года фирма планировала освоить опытное производство полимерных излучающих диодов с гетероструктурой и создать индикаторное устройство на их основе. Осуществимость этих планов подтверждает заключенное с фирмами Uniax (поставщик дисплеев) и Hoechst AG (поставщик материала) лицензионное соглашение по производству дисплеев на полимерных СИД. По соглашению, полимерные материалы будет поставлять Hoechst AG. Uniax продолжит освоение производства полимерных СИД и индикаторов на их основе, а CDT сосредоточит усилия на НИ-ОКР, которые должны ускорить продвижение новых изделий на рынок. Ранее аналогичное соглашение CDT заключила с Philips. Названные фирмы образуют группу ведущих разработчиков и производителей полимерных СИД.

Фирма Uniax, разрабатывающая полимерные СИД с 1996 года, добилась значительных успехов в совершенствовании их конструкции, а также в достижении эффективной инжекции электронов и дырок независимо от относительных значений работы выхода электродов и энергии носителей полимера. Это позволит выполнять электроды из любого металла независимо от его работы выхода. В основу конструкции СИД положена светоизлучающая электрохимическая ячейка, формируемая из смеси светоизлучающего полимера и полимерного электролита. При подаче напряжения на такую ячейку полимер с одной стороны окисляется (область p-типа проводимости), а с другой восстанавливается (об-

ласть *n*-типа), что приводит к формированию *p-n*-перехода. В отсутствие напряжения *p-n*-переход исчезает. Такой переход получил название динамического. Пока разработчики крайне осторожно оценивают полученные результаты, хотя испытания показали, что после хранения в течение года темные точки под электродами не образуются.

В первом квартале этого года на новой производственной линии фирма Upiac планировала начать выпуск опытных партий небольших монохромных точно-растровых дисплеев размером примерно 2,5x5,1 см с информационной емкостью 2–3 тыс. пикселей. Массовое производство дисплеев намечено на третий-четвертый квартал текущего года. Индикаторы предназначены для сотовых телефонов и пейджерсов.

Разработка полимерных СИД интенсивно ведется в Принстонском университете. На ранних этапах этих работ для обеспечения эффективной инжекции электронов и дырок в светоизлучающий полимер ученые университета предложили гетероструктуру, образуемую сопряженным полимером поли(3-*n*-бутил-*p*-пиридилвинилом) (Bu-PPyV), переносящим дырки поли(9-винилкарбазолом) (PVK) и электроны 2-(4-бифенил)-5-(4-тертбутилфенил)-1,3,4-оксадиазолом (PBD). Все составляющие смешиваются в растворителе и наносятся на подложку за одну операцию. Цвет свечения изменяется от синего до красного при изменении содержания Bu-PPyV в смеси от 0 до 100%.

Шаг вперед на пути освоения производства полимерных СИД сделан на фирме IBM, где взамен традиционных электродов из окиси индия-олова, химически взаимодействующих с полимерным светоизлучающим слоем, разработан метод формирования полимерных электродов, инжектирующих дырки.

Поляризованное излучение полимерного СИД на базе растянутой пленки политиофена впервые было продемонстрировано учеными Линкепингского и Чалмерского технологического университетов (Швеция). Обычно макромолекулы полимерной пленки ориентированы произвольно и излучаемый свет неполяризован. Однако под воздействием механического напряжения цепочки макромолекул некоторых полимеров можно растянуть и ориентировать в определенном положении. При этом в направлении, параллельном этой ориентации, наблюдается наиболее высокая интенсивность излучаемого света. Для растянутых полимеров в Линкепингском университете была получена анизотропия интенсивности излучения, равная 60:1. Для изготовления полимерных СИД с поляризованным излучением на полиэтиленовую пленку толщиной 10 мкм

центрифугированием наносился слой светоизлучающего полимера (РТОРТ) толщиной 50 нм. Двухслойная структура механически растягивалась до увеличения ее длины в два раза. Затем путем нагрева она присоединялась к стеклянной подложке со сформированным на ней рисунком электродов из окиси индия-олова и второй пленкой РТОРТ, используемой для улучшения адгезии растянутой структуры. После присоединения к подложке полиэтиленовая пленка удалялась. Красно-оранжевое излучение негерметизированного полимерного СИД возбуждалось при токе менее 1 мА. При токе 3 мА оно было хорошо видно в освещенном помещении. Квантовый выход диода составлял 0,001 и 0,1% при пороговом напряжении 2 и 9 В соответственно. В дальнейшем разработчики надеются увеличить срок службы этих диодов за счет усовершенствования конструкции и корпусирования диода. Пока негерметизированные образцы способны проработать без деградации характеристик всего несколько часов. Применение СИД с поляризованным свечением существенно упрощает конструкцию ЖКИ с подсветкой, что снижает производственные издержки и упрощает технологию их изготовления.

Интересен предложенный специалистами Рочестерского университета и фирмы Hewlett-Packard метод формирования “СИД-матриц пикселей” с помощью обычного процесса фотолитографии, используемого в полупроводниковой технологии. Согласно этому методу, на слой PPV, формируемый поверх электродов из окиси индия-олова на стеклянной подложке, наносится однородная пленка фоточувствительного кислотного генератора. Затем проводится операция экспонирования через шаблон для получения скрытого изображения. И наконец, структура обрабатывается в растворе хлороформа, удаляющего неэкспонированные участки PPV-слоя. Яркость свечения изготовленных таким образом матриц составляла 100–500 кд/м при сроке службы около 10 тыс. часов. Однако чтобы на базе этой технологии организовать производство цветных полимерных дисплеев, предстоит выполнить большой объем работ.

Разработка в 1990 году голубого полимерного СИД вселила надежду, что в скором времени удастся создать полимерные цветные индикаторы и индикаторы белого свечения путем формирования триад красных, зеленых и синих СИД. Однако объединение на одной подложке пленок полимеров, излучающих на различных длинах волн, оказалось чрезвычайно трудной задачей. Процесс нанесения каждого последующего излучающего слоя такой структуры приводил к деградации ранее осажденных

слоев, а индикаторы этого типа не отличались высокими характеристиками. Проблему, по-видимому, удалось решить ученым Центра перспективной технологии в области фотоники и оптоэлектроники Принстонского университета. Они создали прибор, излучающий комбинацию основных цветов, что позволит формировать “белый” или “цветной” пиксель с помощью одного прибора, а не триады СИД. В результате число элементов изображения индикаторного устройства на основе таких органических СИД увеличивается в три раза.

Прибор состоит из трех слоев светоизлучающего органического материала и четырех слоев электродов. Эту структуру удалось создать благодаря разработке в университете Южной Калифорнии электролюминесцентного органического материала (не полимера), состоящего из небольших молекул. Отличительное свойство материала — его прозрачность. В наборном органическом светоизлучающем устройстве, предложенном учеными Принстонского университета, нижний электрод, наносимый на стеклянную или пластмассовую подложку, изготовлен из окиси индия-олова. Остальные электроды выполнены в виде чрезвычайно тонких полупрозрачных металлических пленок, осаждаемых методом напыления или ВЧ-ионного распыления. Цвет свечения СИД перестраивается путем изменения напряжения, подаваемого на светоизлучающие слои. Толщина структуры не превышает 1 мм.

Однако для создания пригодного для применения индикаторного устройства на основе нового прибора необходимо решить ряд важных проблем, в частности исключить искажение цвета, вызываемое образованием микропустот между слоями. Работы по моделированию этих эффектов, оптимизации толщины слоев и поиску новых материалов ведутся на фирме Universal Display — единственной, кому была предоставлена лицензия на светоизлучающие материалы и приборы, совместно разработанные Принстонским центром и Университетом Южной Калифорнии. Если эту технологию удастся успешно реализовать, то новые органические устройства отображения не только захватят часть рынка плоских дисплеев, но и расширят его. Помимо мониторов компьютеров и телевизоров новые устройства найдут применение в дисплеях переднего обзора транспортных средств и других технических новинках. Но это дело отдаленного будущего. Сейчас же на рынок поступают первые изделия на базе новой технологии — монохромные индикаторы с пассивной адресацией и диагональю экрана не более 10 см, которые предназначены для контрольно-измерительной

аппаратуры, пейджеров, автомобильных стереосистем, сотовых телефонов или просто для подсветки ЖКИ. Дальнейшие усилия разработчиков будут направлены на создание экономически эффективных крупноформатных цветных дисплеев со сроком службы 50 тыс. часов.

В эпоху настольных компьютеров и больших машин важнейшими параметрами устройств отображения информации были высокие яркость и разрешающая способность, а также низкая стоимость. Всем перечисленным требованиям отвечали ЭЛТ. Вот почему потребляющие чрезвычайно высокую мощность изделия до сих пор являются основными устройствами отображения информации. Однако портативные вычислительные средства серьезно изменили ландшафт рынка средств отображения, выдвинув в качестве основных такие требования, как малые габариты и потребляемая мощность. И здесь, возможно, открываются широкие перспективы для органических электролюминесцентных индикаторов. Не случайно большой интерес к ним проявляют японские фирмы — ведущие мировые поставщики плоских устройств отображения информации. На фирме Sanyo Electric на основе материала с нерегулярной молекулярной структурой, излучающего в широком спектральном диапазоне, изготовлен светоизлучающий индикатор с зеленовато-белым свечением. Сила света его составляет 10190 кд при напряжении 8 В. Правда, пока потребляемая мощность индикатора слишком велика. Поэтому сегодня разработчики фирмы пытаются найти легирующую примесь, которая позволит увеличить эффективность излучения. Seriously занимаются они и проблемой повышения срока службы органических электролюминесцентных устройств.

Другая японская фирма, Pioneer Electronics, с целью получения материалов, излучающих в красной и синей областях спектра работает с технологией фирмы Eastman Kodak. Здесь создан монокромный органический диод зеленого свечения размером 94,7x21,1 мм. Сила света — 200 кд при потребляемой мощности 0,2 Вт; срок службы — 10 тыс. часов. Опытные образцы нового индикаторного устройства, предназначенного для панельных досок автомобилей, портативных информационных систем, а также домашней аудио- и видеоаппаратуры, должны появиться весной этого года.

Японская фирма Idemitsu Kosan, специализирующаяся в области очистки нефти, пошла по другому пути. В 1986 году она начала изучать излучающий в синем спектре органический материал, названный DPVBI. Разработанный на фирме индикатор содержит следующие

слои: металла (верхние электроды), органических материалов (переносящего электроны, излучающего, переносящего и инжектирующего дырки) и окиси индия-олова (нижние электроды). Толщина структуры составляет 200 нм. Из-за сложности формирования многоцветной структуры специалисты фирмы не стали искать материалы, испускающие свечение красного, синего и зеленого цветов. Вместо этого наносимый методом осаждения из газовой фазы излучающий слой легируется примесью, что позволяет увеличить эффективность излучения в синей области спектра (длина волны — 468 нм). Излучение проходит через пленки люминофоров (так называемая изменяющая цвет среда), которые выполняют функцию светофильтров, поглощают часть синего света и испускают зеленый и красный. Поскольку синее излучение характеризуется высоким энергетическим уровнем, при его преобразовании в красное и зеленое излучение интенсивность последних достаточна велика.

На фирме создана опытная индикаторная панель с размером экрана по диагонали 12,7 см, толщиной 2 мм и массой 80 г. Она способна воспроизводить 16,77 млн. цветов с 256 оттенками серого. Потребляемая мощность панели — 500 мВт. Опытный образец содержит 256 (16x16) квадратных “пикселей” (сторона — 4,5 мм), которые в свою очередь содержат три субпикселя — красные, зеленые и синие люминофорные точки размером 1,5x4,5 мм каждая (синий люминофор применяется для улучшения чистоты синего свечения). Сила света панели при напряжении 5 В равна 100 кд, при 10 В — 10 тыс. кд. Благодаря долговечности используемого материала срок службы панели достигает 10 тыс. часов, хотя проблема защиты металлических электродов от воздействия окружающей среды пока не решена. По утверждению разработчиков, с помощью их технологии можно создать индикаторные панели с разрешением, сопоставимым с VGA-панелями. Однако это потребует совершенствования схем управления и разработки промышленной технологии крупноформатных устройств, для чего необходим контракт с изготовителем дисплеев.

Полимеры находят применение не только при создании электролюминесцентных панелей. Большой интерес к ним проявляют и изготовители ЖКИ. Жидкокристаллические индикаторы на полимерных пленках (вместо стеклянных подложек) со стороны квадрата 6,7 см для пейджеров и портативных радиотелефонов поставляют некоторые японские фирмы. Осенью прошлого года фирма Ricoh планировала выпустить “пластмассовый ЖКИ” с размером эк-

рана по диагонали 12,7 см и разрешением, равным четверти VGA-стандарта. Толщина полимерной пленки, используемой в качестве подложки, равна 100 мкм. Благодаря этому в пять раз уменьшена масса и в два-три раза — толщина индикатора по сравнению с аналогичными ЖКИ на стеклянной подложке, минимальная толщина которой равна 700 мкм. Пока стоимость таких устройств в два-три раза выше, чем традиционных ЖКИ. Однако фирма надеется снизить ее при освоении массового производства на новом предприятии в Атсуджи. Следует принять во внимание и то, что для полимерного ЖКИ требуются менее дорогие схемы управления, что может снизить разницу в ценах на 20—30%. Сейчас ведутся работы по освоению производства монокромных индикаторов на STN-материале, индикаторов с сенсорным управлением, а также по увеличению контраста, который пока составляет 5:1.

Сегодня уже можно говорить о проникновении полимерных устройств на рынок дисплеев для портативных средств связи. По оценкам фирмы Stanford Resources, к 2002 году объем продаж на этом рынке достигнет 600 млн. долл. Наиболее активно здесь действуют фирмы Reflection Technology (сканируемые линейные СИД-матрицы), Motorola (дисплеи типа VirtuoVue на основе GaAs-диодов) и Kopin (ЖКИ с активной матричной адресацией). Основные достоинства новых полимерных устройств — малые производственные затраты (несколько долларов за квадратный метр) и относительно высокая эффективность (3 лм/Вт). По стоимости они успешно конкурируют с ЖК-дисплеями и традиционными СИД-устройствами с аналогичной информационной емкостью. К тому же угол их обзора (180 град в обоих направлениях) больше, чем у ЖКИ. Высокое быстродействие полимерных дисплеев обеспечит воспроизведение видеоизображения с использованием пассивного метода адресации. Кроме того, они работают на постоянном токе и не могут служить источником ВЧ-помех. Все это говорит о том, что полимерные дисплеи ждет большое будущее.

*Laser Focus World, 1995, v.31, N 2, p.99–104; N 4, p. 23, 24; 1997, v.33, N 2, p. 38, 40, 42; N 8, p.69; N10, p. 35, 36, 71.*  
*Electronic Engineering Times, 1995, N 877, p. 26, 35, 38; 1996, N 916, p.20; N 932, p.33; 1997, N 951, p.14; N 957, p.32; N 969, p. 35, 36; N 970, p.14.*  
*Electronic Engineering, 1996, v.68, N 839, p. 67, 69.*  
*Electronic Design, 1996, v.44, N 1, p. 42–46.*  
*Semiconductor International, 1995, v.18, N 13, p.20; 1996, v.19, N 2, p. 26, 28*

## Межведомственный координационный совет по средствам отображения информации

Приказом Министра экономики России от 11 ноября 1997 года создан Межведомственный координационный совет по средствам отображения информации. О задачах, которые перед ним поставлены, первых мероприятиях и планах на будущее рассказывает ученый секретарь Совета С. Г. Даревский.

Сегодня до 90% данных из окружающего информационного пространства человек получает в виде так называемой “зрительной” информации, поступающей от различных средств отображения информации (СОИ). Технический уровень и эффективность этих средств играют важнейшую роль при решении основных проблем развития общества и обороны страны. К сожалению, до сих пор инфраструктура информационного пространства России формировалась без должной координации. Это стало одной из главных причин разобщенности усилий российских создателей СОИ, дублирования отечественных разработок и усиливающейся ориентации на аппаратные и программные решения зарубежных фирм. Кардинально изменить ситуацию призван Межведомственный координационный совет по средствам отображения информации (МКСО). В состав Совета вошли представители 15 заинтересованных министерств и ведомств, включая Министерство экономики РФ, а также некоторых частнопредпринимательских организаций. Поскольку МКСО — преемник ранее действовавшего Межведомственного координационного совета по средствам отображения информации, созданного еще в 1979 году, можно считать, что Совет обладает 19-летним опытом работы.

МКСО призван координировать работу различных предприятий и организаций РФ, участвующих в создании и эксплуатации средств отображения информации. В рамках его деятельности будут разрабатываться прогнозы и рекомендации по развитию СОИ индивидуального и коллективного пользования. Участвуя в заседаниях МКСО, его секций и рабочих групп, ученые и специалисты предприятий и организаций регионов страны смогут устанавливать столь необходимые им контакты, получать информацию о последних достижениях и инновациях.

В соответствии с утвержденным Министерством экономики РФ Положением о МКСО в его составе образовано семь секций (рис.). Заседания Совета проводятся по утвержденному годовому плану, но не реже одного раза в полугодие. На первом заседании, состоявшемся 25 февраля этого года, обсуждались следующие темы: “Средства отображения информации как важнейшая составная часть ин-

фраструктуры информационного общества России”; “Современные электронные приборы отображения информации: состояние работ и перспективы”; “Эргономическая безопасность работы с электронными средствами отображения информации и проблемы совершенствования трудового законодательства России в этой области”.

В ходе первого заседания была отмечена огромная роль СОИ в информатизации общества, развитии таких передовых направлений, как вычислительная техника и автоматизация разнообразных сфер деятельности человека. Вместе с тем научным иссле-



Структура МКСО

дованиям в области перспективных средств и систем отображения информации в стране уделяется недостаточно внимания. В перечне государственных научно-технических программ нет НИОКР, направленных на создание СОИ, способствующих ускоренному развитию экономики страны. Не предусмотрено и проведение необходимых для этого исследовательских и поисковых работ. Отмечалась необходимость выполнения Государственной научно-технической программы разработки перспективных СОИ в рамках конверсии.

Планом МКСО на первый квартал предусмотрено проведение межотраслевого научно-технического семинара “Средства отображения информации двойного назначения”. На нем будут рассмотрены вопросы создания новых унифицированных СОИ двойного назначения для транспорта, систем связи, энергетики, автоматизированных систем управления для различных отраслей промышленности, народного образования, здравоохранения, городского хозяйства и т.п. В первом квартале также планируется завершить формирование всех научных секций МКСО и приступить к активной работе. Следующее заседание МКСО намечено на второй квартал этого года (ориентировочно — май-июнь).

На нем предполагается обсудить проблемы комплексной межотраслевой стандартизации и сертификации средств отображения информации, а также современные средства отображения информации для авиации и космонавтики. Кроме того, участники заседания рассмотрят и утвердят планы работ научных секций. Планируется также провести совместные заседания научных секций СОИ, в том числе секций электронных приборов и аппаратуры отображения информации.

Третье заседание МКСО с повесткой “Приоритетные направления развития отечественных средств отображения информации для конкурса на бюджетное финансирование в 1999 году” намечено на третий квартал. На основе анализа и тенденций развития электронных средств отображения информации в России и за рубежом должна быть определена целесообразность применения и производства СОИ различных принципов действия на период до 2003 года.

Кроме того, будут выработаны рекомендации Минэкономики другим заинтересованным министерствам и ведомствам.

В августе-сентябре на базе ВНЦ “ГОИ им. С.И.Вавилова” предполагается провести научно-технический семинар “Оптические проблемы отображения информации”, где будут рассмотре-

ны вопросы получения стекла для СОИ, создания проекционных систем, использования голографических устройств для отображения информации.

Сегодня в России практически прекращено производство цветных телевизоров вследствие его убыточности. Между тем на наших предприятиях в последние годы созданы образцы телевизоров пятого, шестого и седьмого поколений. Большие успехи достигнуты в разработке плоских экранов — наиболее перспективных устройств СОИ. Поэтому первый вопрос в повестке четвертого заседания, которое должно состояться в декабре, — состояние и перспективы развития производства отечественных цветных телевизоров. Предполагается также рассмотреть вопросы, связанные с созданием проекционных систем отображения информации коллективного пользования и видеопроекторов. Такие системы перспективны для АСУ с большими экранами, устанавливаемыми в диспетчерских службах, на командных пунктах и т.п. Большое внимание будет уделено проведению совместно с ЮНЕСКО и другими международными организациями научно-технических семинаров, симпозиумов, конференций по СОИ.

Контактный телефон: (095) 491-65-07