



# САПР TороR. Ручное редактирование

Сергей Лузин, Геворг Петросян,  
Олег Полубасов (Санкт-Петербург)

Очередная статья цикла «САПР TороR» посвящена особенностям ручного редактирования топологии печатных плат.

Клик левой кнопки мыши (ЛКМ) на пиктограмме  переводит программу TороR в режим ручного редактирования. В отличие от режима FreeStyle [1], в этом режиме форма проводников не вычисляется автоматически, а доступна для ручного редактирования. Проводники представляются ломаными линиями, состоящими из прямолинейных сегментов.

## ФИЛЬТР ВЫДЕЛЕНИЯ

Для отключения возможности выделения объектов различных типов используется фильтр выделения, вынесенный в панель инструментов .

Чтобы выделить объект, необходимо навести на него курсор и нажать ЛКМ. Если под курсором несколько объектов, то с каждым кликом выделение циклически переходит с одного объекта на другой (с учётом фильтра). Альтернативный вариант: клик на одном из объектов при нажатой кнопке Alt откроет окно выделения объектов (см. рис. 1).

Фильтр управляет выделением следующих объектов:

- контакты, переходы и ветвления;
- проводники;
- компоненты;

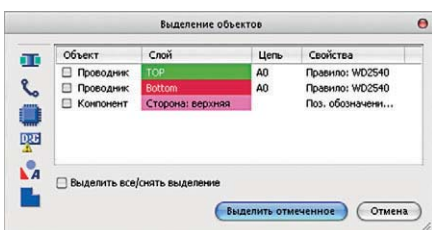


Рис. 1. Окно выделения объектов

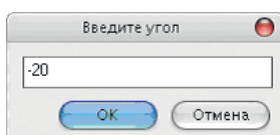




Рис. 2. Окно ввода угла поворота компонента

- нарушения DRC;
- текст и другие примитивы на плате;
- полигоны.

Порядок расположения кнопок в фильтре соответствует приоритетам объектов. Доступ к кнопкам зависит от текущего режима (если объект в текущем режиме нельзя редактировать, соответствующая кнопка становится неактивной).

Режим редактирования размещения – .


Режим ручного редактирования – .

Режим редактирования топологии в стиле FreeStyle – .

Если не удаётся выделить объект, следует проверить, не отключена ли соответствующая группа в фильтре выделения.


Нажатие клавиш Ctrl+A выделяет все объекты, доступные для выделения (не отключенные в фильтре).


## ДЕЙСТВИЯ С КОМПОНЕНТАМИ

Зафиксировать (расфиксировать) выделенный компонент можно щёлкнув мышью на кнопке . Как уже упоминалось в предыдущих статьях, при трассировке соединений система TороR обладает способностью в некоторых пределах перемещать (передвигать) компоненты. Некоторые компоненты необходимо располагать на фиксированных местах. К таким компонентам относятся разъёмы, крепёжные отверстия и т.п.





Незафиксированные компоненты считаются подвижными. Это, в частности, означает (если не включён строгий контроль трассировки), что программа TороR не будет ограничивать количество проводников между незафиксированными компонентами, считая, что возможные узкие места будут ликвидированы перемещением компонентов.

Фиксация компонентов оказывает большое влияние на топологию печатной платы. Поэтому следует фиксировать только те компоненты, которые действительно этого требуют.

Сменить сторону установки компонента можно щелчком мыши на кнопке .

Для вращения компонентов предназначены кнопки . При нажатии ЛКМ на кнопке произойдёт поворот выделенного компонента (группы выделенных компонентов) на 90 градусов соответственно против часовой стрелки и по часовой стрелке.

Для поворота на произвольный угол необходимо в меню «Правка → Поворот на произвольный угол» ввести требуемый угол поворота в градусах (см. рис. 2). Поворот осуществляется относительно текущего положения объекта.

Команда Query  служит для выделения компонента , цепи  или контакта  и получения информации о выделенном объекте.

Строка состояния расположена под рабочим полем. Краткие сведения об элементе появляются в центре строки состояния. При этом в левой части строки – текущие параметры проекта (режим работы, длина соединений, число переходных отверстий и число нарушений проектных норм), а в правой – текущие координаты курсора.

Выполнение команды Query для компонентов и контактов не зависит от режима работы. Идентификация цепей, напротив, зависит от режима работы. Программа TороR – топологический трассировщик. Поэтому идентификация цепи осуществляется кликом мыши на контакте, инцидентном цепи. Исключение составляет режим ручного редактирования, в котором для каждой цепи предусмотрено хранение точек излома. В этом режиме можно идентифицировать цепь, кликнув мышью на любой её точке.

Выделение компонента осуществляется щелчком мыши по нему. Выделение нескольких компонентов осуществляется аналогично выделению одного компонента, но при удерживаемой клавише Ctrl.

Вторая возможность – «выделение окном»: мысленно представив прямоугольник, охватывающий контуры и контакты компонента, следует щёлкнуть мышкой в одном из его углов и, удерживая ЛКМ в нажатом положении, отпустить кнопку в противоположном углу прямоугольника.

При выделении окном будут выделены только компоненты, которые полностью попадут в окно. Компоненты, частично попавшие в окно, выделены не будут.


### ВЫДЕЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Выделение сегмента проводника (прямолинейного фрагмента) осуществляется щелчком мыши на проводнике. При этом сегмент проводника подсвечивается цветом, назначенным в настройках, и на нём появляются маркеры: в начале, в середине и в конце сегмента (см. рис. 3). Перемещая маркеры, можно редактировать проводники. При перемещении выделенного сегмента не за маркер выполняется его параллельный перенос.

Если выделен сегмент проводника, то, удерживая клавишу Shift, можно выделить участок проводника, кликнув мышью на другом его сегменте.

Удерживая клавишу Ctrl, можно выделять несколько фрагментов проводников. Нажатие клавиши «X» на клавиатуре при выделенном сегменте приводит к выделению проводника (см. рис. 4). Повторное нажатие клавиши «X» приводит к выделению всей цепи (всех проводников, контактов и переходных отверстий, принадлежащих цепи). Последующее нажатие клавиши «X» возвращает выделение первоначально выбранного сегмента.

### СПРЯМЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА

Если выделен участок проводника, содержащий несколько сегментов, то клик ЛКМ на пиктограмме  или нажатие клавиши «C» приводит к замене выделенной части проводника одним сегментом (к спрямлению выделенной части проводника, см. рис. 5).

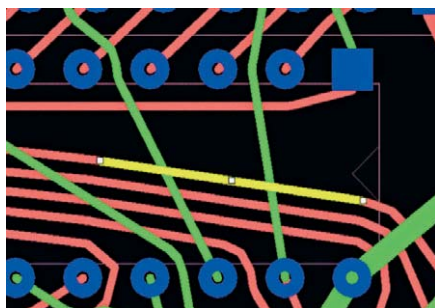


Рис. 3. Выделение сегмента проводника

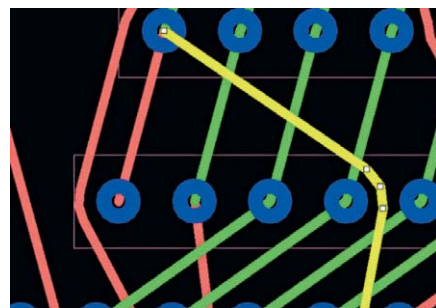


Рис. 4. Выделение проводника

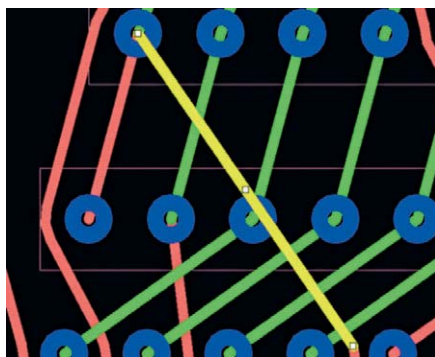


Рис. 5. Спрямление проводника

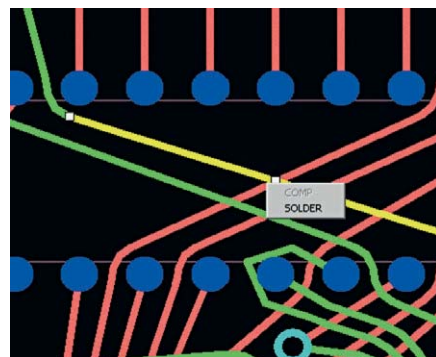



Рис. 6. Изменение слоя сегмента

После спрямления проводника следует убедиться в правильности топологического маршрута спрямленного участка, а также в том, что отсутствуют топологические нарушения: проводник не пересекает (в топологическом смысле) другие проводники в том же слое и контакты компонентов, инцидентных другим цепям. Нарушениями в топологическом смысле являются:

- нечётное число пересечений проводника с другим проводником в этом же слое;
- пересечение проводником центра контакта, принадлежащего другой цепи.

### ИЗМЕНЕНИЕ ШИРИНЫ ПРОВОДНИКА

Для изменения ширины сегмента проводника следует кликнуть ЛКМ на пиктограмме  или нажать клавишу «R» и выбрать значение ширины проводника из появившегося списка

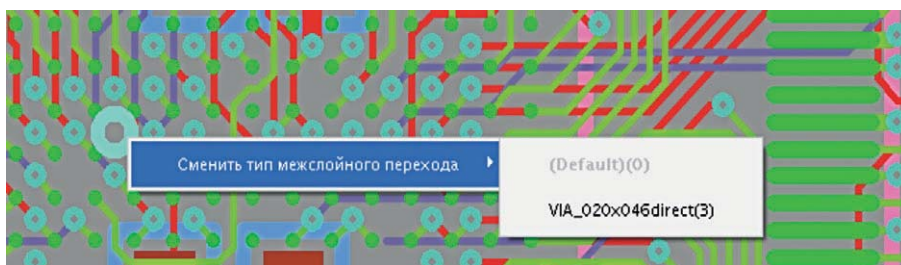




Рис. 7. Изменение типа межслойного перехода

### ИЗМЕНЕНИЕ СЛОЯ СЕГМЕНТА


Для изменения слоя сегмента проводника следует кликнуть ЛКМ на пиктограмме  и выбрать имя слоя из появившегося списка . На концах сегмента при этом могут создаться переходные отверстия.

Другой вариант – нажать клавишу «L» на клавиатуре, при этом на месте курсора появится меню для выбора слоя (см. рис. 6).

### ИЗМЕНЕНИЕ ТИПА МЕЖСЛОЙНОГО ПЕРЕХОДА

Выделите переходное отверстие кликом ЛКМ. Клик ПКМ приводит к появлению поля «Сменить тип межслойного перехода» (см. рис. 7).

### ПАЛИТРА

Для выбора цвета выделенного проводника следует кликнуть ЛКМ на пиктограмме . При клике на поле Auto проводнику возвращается первоначальный цвет. Клик на поле Auto for all возвращает первоначаль-

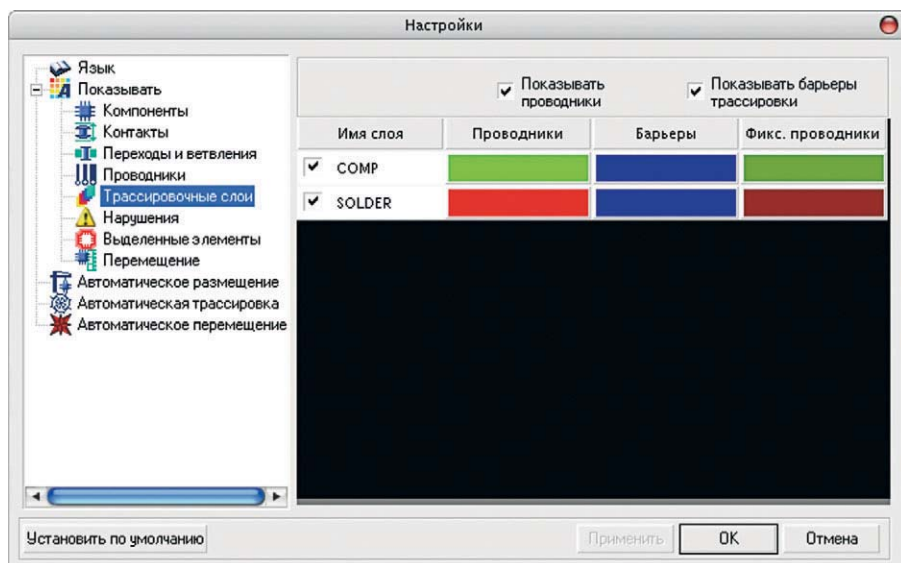




Рис. 8. Настройки трассировочных слоёв

ный цвет всем раскрашенным проводникам.

### УДАЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА

Для удаления выделенного сегмента проводника или переходного отверстия достаточно кликнуть левой кнопкой мыши на иконке .


### ПРОКЛАДКА ПРОВОДНИКА


Клик ЛКМ на пиктограмме  включает режим прокладки (рисования) проводника. При смене слоя в процессе прокладки проводника автоматически добавляется межслойный переход.

При прокладке проводника задаётся его топологический маршрут. Это означает, что нет необходимости заботиться о точной геометрии проводника и о соблюдении конструкторско-технологических ограничений. На этапе ручного редактирования касание прокладываемого проводника и других элементов топологии не считается ошибкой. Ошибкой не является также чётное число пересечений с другими проводниками, если между ними отсутствуют элементы топологии. При переходе в режим «Редактирование топологии в стиле FreeStyle» подобные пересечения будут автоматически ликвидированы. Кроме того, будет автоматически рассчитана оптимальная форма проводника с учётом конструктивно-технологических ограничений.

### РАБОТА С ФИКСИРОВАННЫМИ ПРОВОДНИКАМИ И ПЕРЕХОДАМИ

Для фиксации положения сегментов проводников и межслойных пе-

реходов следует выделить объект и нажать на кнопку . Функция доступна только в режиме ручного редактирования. Фиксированные проводники рисуются другим цветом. Цвет задаётся для каждого слоя на странице «Трассировочные слои» настроек в столбце «Фикс. проводники» (см. рис. 8).

Фиксированные межслойные переходы рисуются также другим цветом, который задаётся в настройках. Чтобы изменить зафиксированные объекты (редактировать проводник, подвинуть переходное отверстие), необходимо отменить фиксацию. Фиксация проводников и переходных отверстий сохраняется во всех режимах, кроме режима размещения .

### ОБРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНЫХ СЛУЧАЕВ

*Выделен проводник, инцидентный переходному отверстию:*

- при фиксации проводника фиксируются как проводник, так и инцидентные ему переходы;
- при снятии фиксации команда применяется только к выделенному проводнику, состояние переходов не меняется;
- если у перехода не остается ни одного фиксированного инцидентного проводника, то фиксация с перехода снимается.

*Выделен переход:*

- смена состояния перехода не влияет на инцидентные ему проводники, т.е. допускается ситуация: фиксированный проводник – нефиксированный переход.

*Выделен компонент, инцидентный фиксированному проводнику:*

- при перемещении компонента форма фиксированного проводника не меняется. Между компонентом и проводником создаётся связующий подвижный проводник.

*Перемещение объектов, инцидентных зафиксированным проводникам:*

- если среди выделенных объектов имеются зафиксированные, то перемещение запрещено;
- при перемещении переходного отверстия или компонента, инцидентного зафиксированному проводнику, между перемещаемым объектом и зафиксированным проводником создаётся незафиксированный проводник.

### ИЗБЫТОЧНЫЕ МЕЖСЛОЙНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

При переходе в режим «Ручное редактирование» можно разрешить автоматическое удаление избыточных межслойных переходов, появляющихся после оптимизации путей проводников (refine). Для этого следует выставить флаг в настройках (Инструменты → Настройки → Переходы и точки ветвления) в соответствующее положение. Этот же флаг можно установить при запросе об удалении избыточных переходов (см. рис. 9).

### ПЕРЕНАЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОНТАКТОВ

При переходе в этот режим редактирования группы функционально эквивалентных контактов компонента показываются разными цветами. Цвета группам назначаются автоматически из предварительно заданного набора (5 – 10 легко различаемых цветов). Помимо цвета, группа отмечается буквой [A – Z, a – z].

При клике на одном из контактов выбранный контакт выделяется (см. рис. 10).

Второй клик на одном из контактов группы приводит к смене назначения контактов. У контактов меняются номера цепей; проводники, подходившие к контактам, перебрасываются (см. рис. 11). Обычно после этого необходимо редактирование проводников для устранения пересечений с контактами (см. рис. 12).

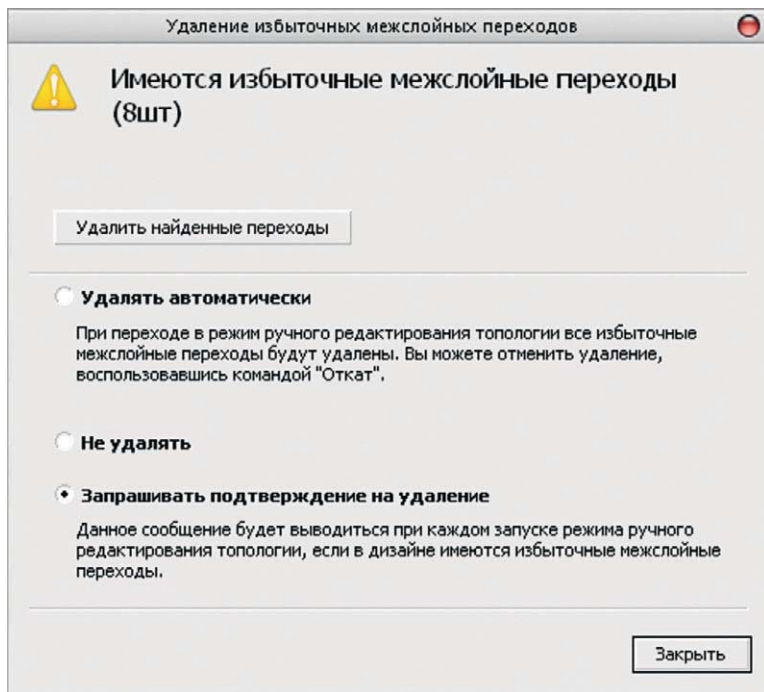


Рис. 9. Панель «Удаление избыточных межслойных переходов»

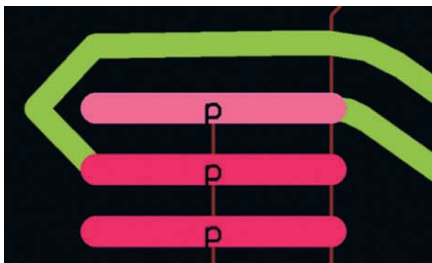


Рис. 10. Выделение функционально эквивалентных контактов



Рис. 11. Переименование функционально эквивалентных контактов



Рис. 12. Ликвидация нарушений после переименования контактов

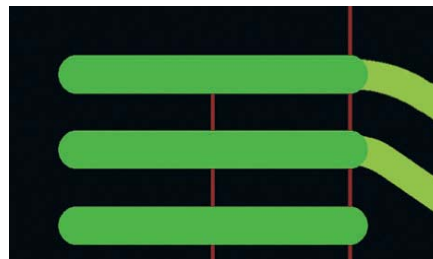




Рис. 13. Окончательная форма проводников

Окончательная форма проводников определяется после перехода в режим редактирования в стиле FreeStyle  или после нажатия кнопки  (см. рис. 13).

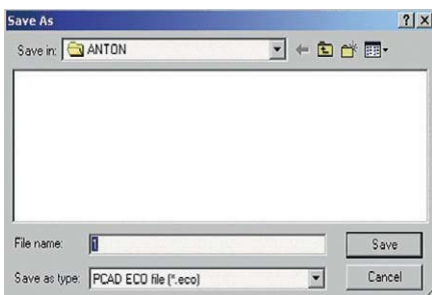



Рис. 14. Сохранение информации о переименованиях контактов

При переключении проводников, если контакты планарные и находятся на разных слоях, проводники остаются неподключенными (аналогично смене стороны установки планарного компонента). Если второй клик произошёл не на контакте из выделенной группы, то выделение первого контакта снимается и команда не выполняется. Информация о переименованиях записывается в ECO-файл (см. рис. 15).

Пример ECO-файла:

```
TopoR Version 3.0.56.83
[D:\PUBL\ANTON\1.fsx]--T13u Jan
26 13:56:42 2006
PinSwap «D1-73» «D1-74»
```

## РАБОТА С НАДПИСЯМИ


Для создания надписи достаточно нажать на кнопку  и щёлкнуть мышкой на месте, где будет располагаться надпись. При этом на указанном месте появится прямоугольник со словом «Текст», а в «Окне свойств» появится панель редактирования надписей (см. рис. 15).

Возможности редактирования:

- редактировать текст надписи;
- поворачивать надпись на произвольный угол (угол поворота задаётся в градусах);
- зеркально отображать надпись;
- выбирать стиль надписи;
- задавать положение надписи (выбрать точку привязки) и выравнивать надпись относительно точки привязки;
- выбирать слой, надпись может находиться на верхней и нижней сторонах размещения (шелкография), а также на трассировочных слоях;
- вызвать редактор стиля и создать свой стиль надписи.

Изменения вступают в силу после нажатия на кнопку «Применить» или Enter. Если выделен один объект типа надпись, в «Окне свойств» показываются параметры надписи.

При множественном выделении надписей:

- запрещается редактировать точку привязки;
- в случае совпадения значений параметры надписей отображаются, в случае несовпадения – соответствующие поля остаются пустыми;
- изменения распространяются на все выделенные надписи. Нажатие на кнопку  справа от окна выбора стиля приводит к появлению панели редактирования стиля надписей (см. рис. 16).

Для каждого стиля можно настроить:

- высоту символа;
- ширину символа;
- шрифт (поддерживаются векторные и растровые шрифты).

Список шрифтов берётся из папок шрифтов, выбранных в настройках. При выборе стиля заполняются соответствующие поля, в которых можно изменить настройку стиля. Изменения вступают в силу после нажатия на кнопку «Применить». Удаление стиля возможно, если ни одна надпись не использует этот стиль.

### РЕДАКТИРОВАНИЕ

При изменении любого параметра надписи кнопка «Применить» становится активной. При добавлении нового стиля параметрами по умолчанию считаются параметры из стиля, выделенного в списке. Нельзя удалить стиль, который используется шрифтами, и стиль default. Стиль default можно редактировать. Выбор шрифта для стиля осуществляется в соответствующем окне. Шрифты не дублируются. В список подгружается первый встретившийся файл с уникальным именем.

### СОЗДАНИЕ КОНТУРА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Для создания контура печатной платы достаточно выбрать команду «Создать запрет» и в выпадающем меню выбрать форму примитива (см. рис. 17). После того как примитив будет нарисован, необходимо установить его свойства: «Слой» – «На всех слоях» и «Роль» – «Контур платы» (см. рис. 18).

Вырезы в плате создаются аналогично контуру платы, но свойство «Роль» необходимо установить в значение «Вырез в контуре платы».

### СОЗДАНИЕ ЗАПРЕТОВ

Для создания запрета достаточно выбрать команду «Создать запрет» и в выпадающем меню выбрать форму примитива (см. рис. 17). После того как примитив будет нарисован, следует установить его свойства (см. рис. 19).

Если выбран трассировочный слой либо слой размещения, то роль запрета – «Запрет трассировки» либо «Запрет размещения» соответственно. Если выбран пункт «Все слои», то роль можно выбирать из нескольких пунктов:

- запрет размещения компонентов на обеих сторонах платы;
- запрет трассировки на всех трассировочных слоях;
- запрет трассировки на всех внутренних трассировочных слоях.

### СОЗДАНИЕ ОБЛАСТИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Для создания области металлизации достаточно выбрать команду «Создать область металлизации» и в выпадающем меню выбрать её форму (см. рис. 20). После того как

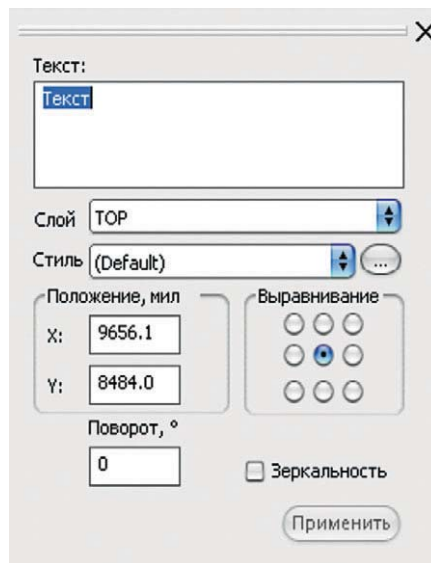


Рис. 15. Панель редактирования надписей

область металлизации будет создана, следует задать её свойства (см. рис. 21).

На вкладке «Общие» выбирается слой и состояние заливки. Слой – допустимы только трассировочные

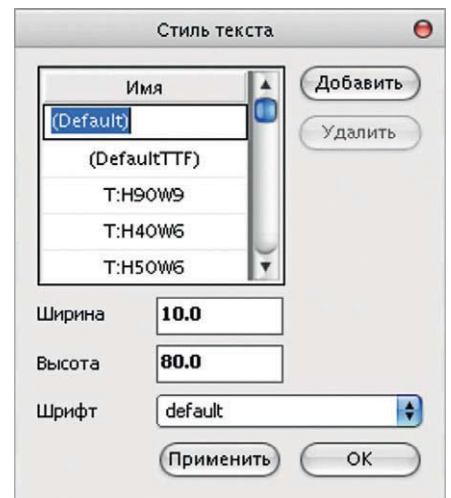


Рис. 16. Панель редактирования стиля надписей

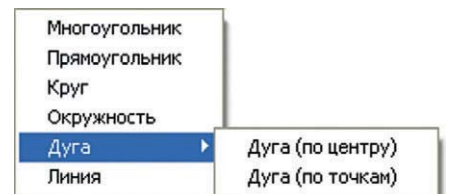


Рис. 17. Выбор формы запрета

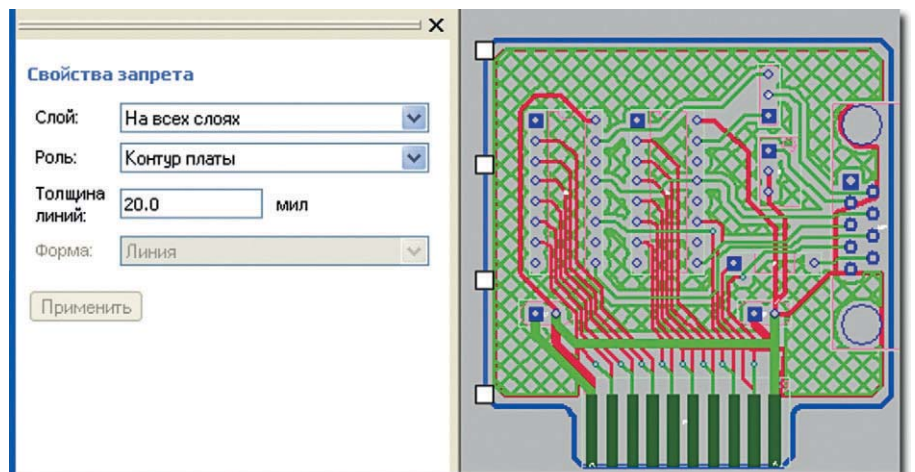


Рис. 18. Создание контура печатной платы

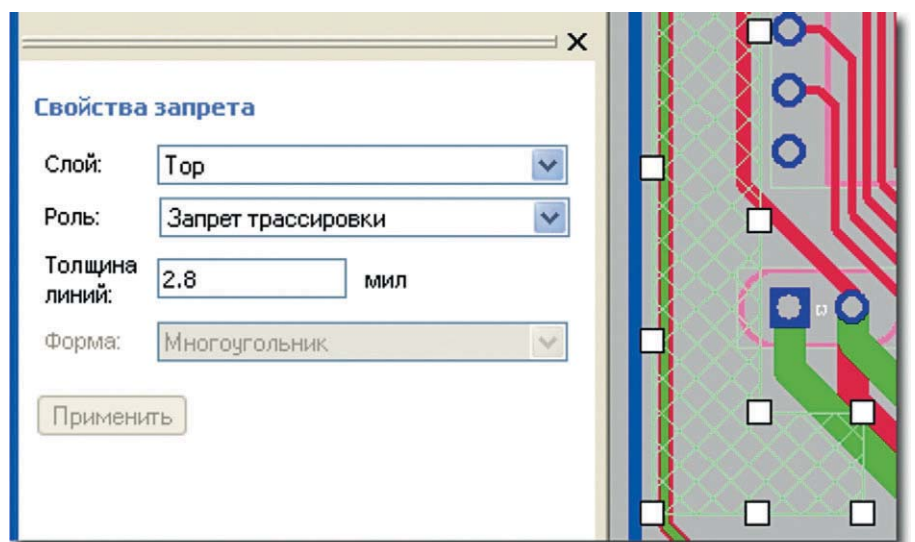


Рис. 19. Создание запретов



Рис. 20. Выбор формы области металлизации

Свойства области металлизации

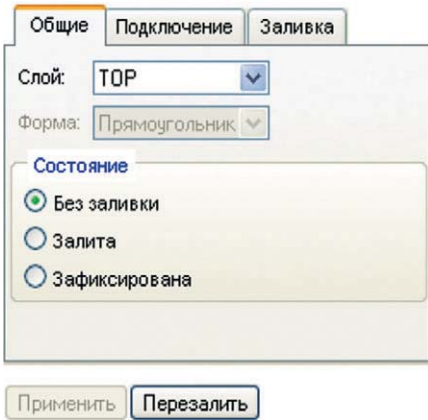


Рис. 21. Свойства области металлизации

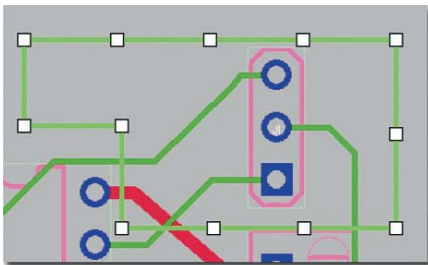


Рис. 22. Область металлизации без заливки

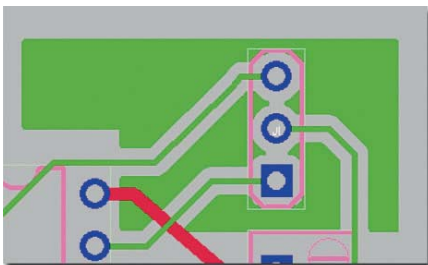


Рис. 23. Залитая область металлизации

слои. Состояние – область металлизации может находиться в одном из трех состояний:

- без заливки – области металлизации без заливки не учитываются автоматическими процедурами и не проверяются в DRC. Контур области металлизации доступен для модификации (см. рис. 22);
- залита – если область металлизации накладывается на область платы, содержащей некоторые объекты (контакты, проводники и т.д.), фрагменты, содержащие подобные объекты, «выкусываются» из области металлизации с необходимым зазором. При этом об-

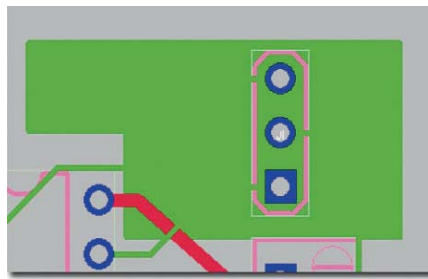


Рис. 24. Зафиксированная область металлизации

Свойства области металлизации

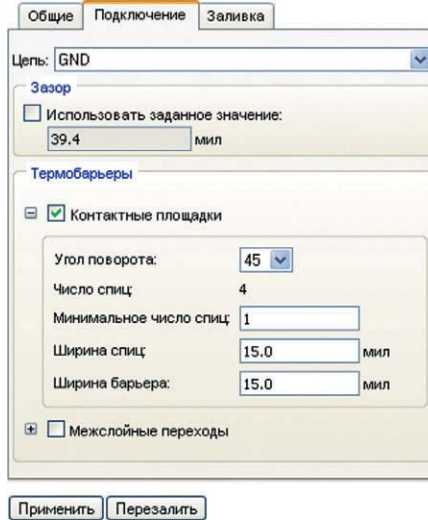


Рис. 25. Подключение области металлизации

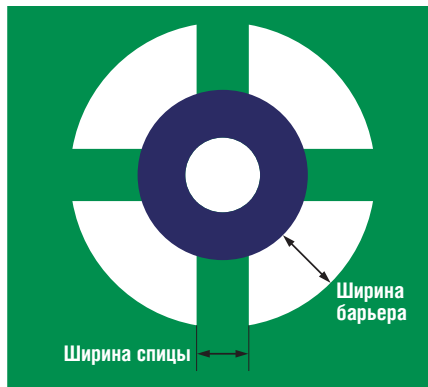


Рис. 26. Термобарьер

- область металлизации может оказаться разбитой на несколько несвязанных частей (см. рис. 23). Островки, полученные после заливки, можно удалить (предварительно выделив);
- зафиксирована – если предыдущее состояние области металлизации было «Залита», то при фиксации на данную область не будут оказывать влияние команды «Перезалить все», «Перезалить выделенное», «Удалить заливку». Если же предыдущее состояние области металлизации было «Без заливки», то создаётся залитая область, повторяющая контур, заданный пользователем. Термобарьер-

еры при этом не создаются; объекты, подключенные к другим цепям, не «выкусываются» (см. рис. 24).

На вкладке «Подключение» выбирается цепь, к которой подключается область металлизации, зазор до других элементов на слое, а также наличие термобарьеров и их параметры (см. рис. 25):


- цепь – выбор цепи, к которой будет подключена область металлизации. При заливке объекты, подключенные к той же цепи, не «выкусываются» из области металлизации;
  - зазор по умолчанию. Между объектами других цепей и областью металлизации выдерживается зазор, заданный в «Редакторе стиля». Если цепи области металлизации и «выкусываемого» объекта имеют разные значения зазоров, то выбирается максимальный из них. Если отмечен пункт «Использовать заданное значение», то выбирается максимальный зазор из трёх значений: заданного для выделенной области металлизации, заданного для цепи области металлизации и цепи выкусываемого объекта;
  - термобарьеры – можно задать способ подключения контактов и межслойных переходов той же цепи: напрямую или через термобарьер (см. рис. 26). Программа TороR старается создать у термобарьера четыре спицы. Если число спиц окажется меньше заданного в правилах, то будет выдано предупреждение. Можно управлять углом поворота термобарьера, шириной спиц и шириной барьера.
- На вкладке «Заливка» выбирается тип заливки (сплошная или штрихованная), а также параметры заливки (см. рис. 27):
- штриховка – можно выбрать одно из трёх значений: сплошная, прямоугольная и диагональная;
  - толщина линий – толщина линий, образующих заливку;
  - зазор между линиями – зазор между линиями заливки;
  - приоритет – влияет на порядок «выкусывания» перекрывающихся областей металлизации на одном слое. Области с большим приоритетом «выкусываются» из областей с меньшим приоритетом;
  - минимально допустимая площадь островка – если площадь островка

меньше заданной, то островок удаляется;

- удалять неподключенные островки – при включенной настройке будут удалены островки, в которые не попадают контакты, межслойные переходы или проводники той же цепи;
- точность аппроксимации – можно выбрать одно из трёх значений: низкая, средняя и высокая. Учитывается при «обкусывании» круглых/изогнутых объектов.

При изменении влияющих на заливку свойств залитой области металлизации происходит перезаливка выделенной области.

### СОЗДАНИЕ ВЫРЕЗОВ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Команда доступна, только если выделена одна незалитая и незафиксированная область металлизации. Для создания выреза в области металлизации необходимо выбрать команду «Создать вырез в области металлизации»  и в выпадающем меню выбрать форму выреза (см. рис. 28).

Вырезы могут перекрываться и выходить за пределы своей области металлизации. Для удаления выреза необходимо выделить вырез и нажать клавишу Del.

### ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ С ОБЛАСТЯМИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Толщину линии области металлизации рекомендуется установить не меньше ширины проводников, подключаемых к области металлизации. После заливки области металлизации рекомендуется перейти в режим редактирования в стиле FreeStyle (F8) и запустить процедуру оптимизации путей проводников.

В меню «Области металлизации» доступны следующие команды:

- по команде «Залить всё» осуществляется заливка всех незалитых областей металлизации;
- по команде «Удалить заливку у всех» удаляется заливка только у незафиксированных областей металлизации;
- по команде «Перезалить всё» перезаливаются все незафиксированные области металлизации.

Для зафиксированной области металлизации доступно изменение свойств. При изменениях свойств, влияющих на геометрию области металлизации, выполняется перезаливка.

### РИСОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ПРИМИТИВОВ

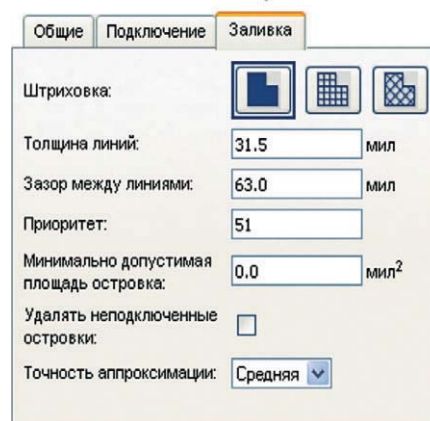
Во время создания и редактирования линий и многоугольников можно использовать функцию «Привязка к углу» (Snap to angle). При включенной функции сегмент, инцидентный перемещаемой вершине, выравнивается на угол, кратный 45 градусам.

Включение/выключение функции осуществляется клавишей «O». Если при редактировании перемещается вершина, которой инцидентны два сегмента, то выравнивается только один из них. Для переключения между инцидентными отрезками используется клавиша «P».

Также при создании и редактировании графических примитивов доступна функция «Выравнивание по сетке» (Align to grid). Сетка определяется в настройках на панели «Отображение». Включение/выключение функции осуществляется клавишей «G». Информация об используемых функциях выводится в статусной строке, в правом углу. Для выделения любого примитива достаточно кликнуть ЛКМ на его контуре либо внутри его контура (если примитив залит).

Примитивы можно выделить окном. При выделении окном выделяются только примитивы, целиком попадающие в окно. Модификация контура осуществляется перемещением маркеров. Чтобы переместить примитив, достаточно кликнуть на его

Свойства области металлизации



Применить    Перезалить

Рис. 27. Параметры заливки области металлизации

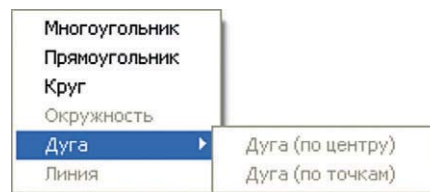


Рис. 28. Выбор формы выреза в области металлизации

контуре (но не на маркере) и, не отпуская кнопки мыши, потащить.

### Линия

Каждое нажатие ЛКМ добавляет вершину в создаваемую линию. Завершение ввода линии выполняется нажатием ПКМ либо нажатием клавиши Esc. Для удаления вершины достаточно кликнуть ПКМ на вершине

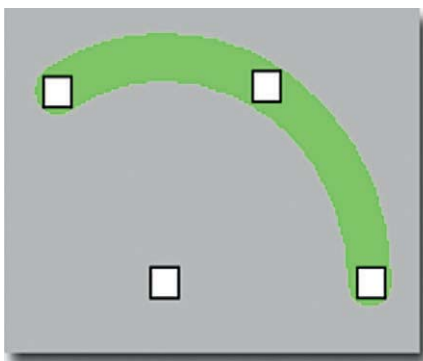


Рис. 29. Редактирование дуги

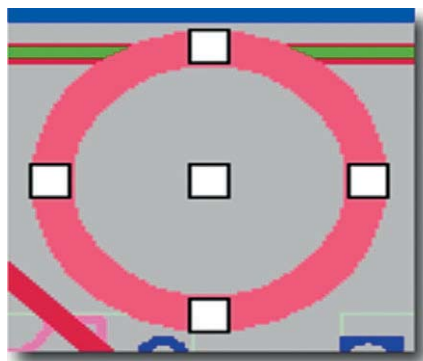


Рис. 30. Редактирование окружности

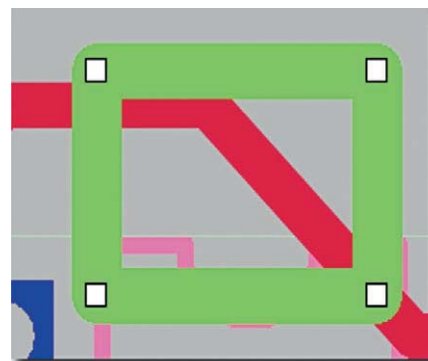


Рис. 31. Редактирование прямоугольника

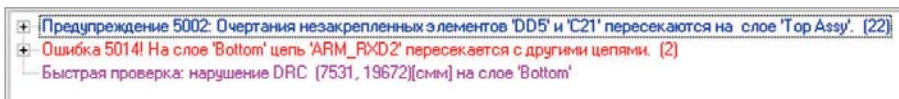


Рис. 32. Окно сообщений

и в появившемся меню выбрать пункт «Удалить вершину».

### Дуга

При создании примитива предусмотрены два способа ввода:

- по центру: первый клик мыши задаёт центр дуги, второй клик задаёт начальную точку дуги (фиксируется радиус), третий – конечную точку (на окружности фиксированного радиуса);
- по точкам: первый клик мыши задаёт начальную точку дуги, второй – конечную, третий позволяет изменить положение центра (находится между начальной и конечной точками после второго клика).

Дуга отображается от начальной к конечной точке по направлению против часовой стрелки.

При выделении на дуге появляются четыре маркера (см. рис. 29). При перемещении маркера центра дуги фиксируются начальная и конечная точки, изменяется положение центра (и, как следствие, радиус дуги), но не изменяется изгиб дуги. При перемещении маркера середины дуги также фиксируются начальная и конечная точки, изменяется положение центра и предусмотрена возможность изменения изгиба дуги.

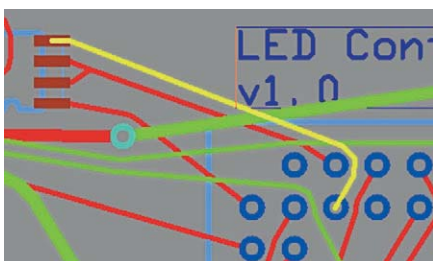


Рис. 33. Подсветка объектов при клике на сообщении об ошибке

Перемещение конечных маркеров дуги может осуществляться двумя способами:

- в случае, если удерживается клавиша Ctrl, фиксируется положение центра и противоположного конечного маркера, перемещение выделенного маркера осуществляется по фиксированному радиусу (если активирована функция «Привязка к углу» (Snap to angle), то перемещение по радиусу осуществляется с выравниванием на угол, кратный 45 градусам);
- в случае, если клавиша Ctrl не нажата, фиксируется положение центра дуги, при перемещении изменяется радиус дуги и положение перемещаемого маркера на дуге; противоположный маркер при этом перемещается по прямой, соединяющей его с центром дуги.

### Круг, окружность

При создании примитива первый клик мыши задаёт центр, второй – точку на окружности. При выделении на окружности появляются пять маркеров (см. рис. 30). Для перемещения примитива достаточно потянуть за центральный маркер либо за контур. Чтобы изменить размер примитива, необходимо потянуть за любой маркер, расположенный на окружности. Круг является залитым примитивом, а окружность – нет.

### Прямоугольник

При создании примитива первый клик мыши задаёт одну из вершин, второй – противоположную вершину. При выделении на прямоугольнике появляются четыре маркера (см.

рис. 31). Чтобы изменить размер примитива, необходимо потянуть за один из маркеров, расположенных в углах прямоугольника.

### Многоугольник

Каждое нажатие ЛКМ добавляет вершину в создаваемый многоугольник. Завершение ввода многоугольника выполняется нажатием ПКМ либо нажатием клавиши Esc. Если многоугольник имеет менее трёх вершин, то он удаляется. Если контур создаваемого многоугольника пересекается с существующими многоугольниками (на том же слое, с той же ролью), то многоугольники не объединяются.

Для удаления вершины необходимо кликнуть ПКМ на вершине и в появившемся меню выбрать пункт «Удалить вершину». Если контур многоугольника содержит самопересечение, то примитив не учитывается при трассировке, при этом в окне сообщений выдаётся соответствующее предупреждение.

### УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК. ОКНО СООБЩЕНИЙ

Сообщения об ошибках, предупреждениях, а также о нарушениях проектных норм отображаются в окне сообщений в виде дерева, в котором сообщения группируются по типам (см. рис. 32).

При двойном клике мышкой на сообщении или выборе пункта «Перейти к ошибке/предупреждению» контекстного меню окна сообщений центр изображения перемещается к месту конфликта, и объекты, о которых говорится в сообщении, подсвечиваются (см. рис. 33).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лузин С., Петросян Г., Полубасов О. САПР ТороR. Редактирование в стиле FreeStyle. Современная электроника. 2009. № 1. ©



## Первый взгляд на посткремниевую электронику

Стремительное развитие полупроводниковой индустрии легко описывается известным законом Мура, сформулированным ещё в далёком 1965 г. и гласящим, что каждые два года количество компонентов интегральных схем будет удваиваться. С середины шестидесятых годов до наших дней закон Мура оставался справедливым, несмотря на множество скептических возгласов, – мол, ещё год-два, и темпы развития отрасли значительно снизятся.

Одновременно с усовершенствованием технологий изготовления интегральных микросхем велось усовершенствование и вычислительных систем их использующих, что вылилось в резкий рост производительности компьютеров, начиная от домашних и заканчивая кластерными системами. В свою очередь большие вычислительные возможности положительно сказались на научных исследованиях, особенно тех, что требуют обработки колоссальных объёмов данных.



Несмотря на справедливость закона Мура, уже в течение четвёртого десятка лет всё большее число специалистов указывает на скорое замедление темпов развития микроэлектроники. Постепенная миниатюризация компонентов и повышение точности оборудования позволяют формировать транзисторы размерами в десятки нанометров, и через несколько лет размеры элементов вплотную приблизятся к размеру атомов кремния. По оценкам специалистов, произойдёт это уже к 2020 г., если развитие интегральных микросхем не затормозится ранее.

При этом масштабе кремний теряет столь ценные микроэлектронные свойства, и использование этого материала для создания привычных микросхем оказывается невозможным. В этом случае возможны два варианта развития событий – либо ищется альтернативный материал, обладающий нужными свойствами, либо развитие вычислительной техники

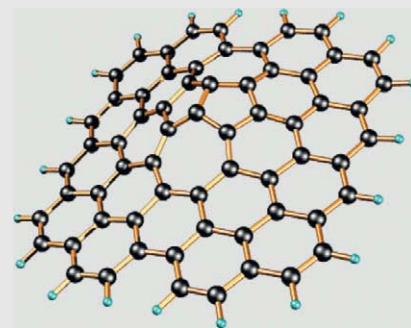
на некоторое время приостанавливается. До создания кардинально новых систем, например, квантовых компьютеров.

Впрочем, есть и несколько иные пути модернизации интегральных микросхем, которые позволяют повысить их производительность и сделать более миниатюрными. Здесь стоит отметить интереснейшую и перспективную инновацию разработчиков Intel – трёхзатворный транзистор. Разумеется, затвор в данном случае единственный, однако он огибает канал транзистора, что приводит к лучшему управлению режимом работы компонента микросхемы и, как следствие, повышению её производительности и снижению потребляемой ей энергии. Согласно мнению специалистов, подобное ноу-хау будет применяться практически во всех микросхемах следующих поколений, изготавливаемых по CMOS-процессу.

Однако производительность интегральной микросхемы зависит далеко не только от возможностей её основных составных частей, но ещё и от скорости передачи электрического сигнала между ними. Но вполне возможно повышение этого показателя до скорости света – за счёт интеграции на кристалл ещё и миниатюрных источников и приёмников оптического излучения. «Побочным эффектом» является возможность дальнейшей миниатюризации интегральных микросхем за счёт более плотного размещения её компонентов – это ещё некоторое время даст возможность исполнения закона Мура, причём без снижения размеров транзисторов.

Однако подобные усовершенствования – лишь временное решение основной проблемы: невозможности бесконечной миниатюризации кремниевых микросхем. И здесь на помощь разработчикам должны прийти альтернативные материалы, а одним из наиболее вероятных кандидатов на замену кремнию является графен – структура из атомов углерода толщиной всего в один атом. Уникальные свойства графена таковы, что электроны свободно перемещаются вдоль слоя графена, не испытывая взаимодействий с атомами, как это происходит в привычных нам трёхмерных структурах. Таким образом, «лист» графена можно рассматривать в качестве идеального канала транзистора, причём его толщина составляет не десятки нанометров, как сегодня, а всего в один атом.

Таким образом, сегодня мы стоим на пороге довольно интересной эры – перехода от традиционной полупроводниковой кремниевой микроэлектроники к более совершенным решениям, отличающимся



высочайшей производительностью, рекордной миниатюризацией и экономичностью. Впрочем, для достижения столь многообещающих результатов ведущим исследовательским лабораториям и производителям интегральных микросхем придётся вложить огромные инвестиции в разработку новейших технологий. Что же касается закона Мура, то вполне возможно, что его полномочия будут сложены отнюдь не в 2020 г., к которому нам обещают полный уход от кремния.

*newscientist.com*

## Intel даст мобильным устройствам энергию из окружающей среды

Компания Intel разработала энергонезависимый чип-сенсор, который можно имплантировать в человеческое тело, встраивать в мобильные устройства или стены зданий. Устройство, называемое WISP (wireless identification and sensing platform, или беспроводная идентификационно-сенсорная платформа) может работать неограниченно долго, аккумулируя энергию из окружающей среды. Источником питания может служить практически любой вид энергии: солнечная, механическая, энергия электромагнитного поля или тепло человеческого тела.

Свои слова Intel подкрепила показом вполне реальных устройств. Компания продемонстрировала энергонезависимые датчики контроля чистоты воздуха, прототип мобильного телефона с дисплеем, солнечной батареей и наручные часы, питающиеся от тепла руки владельца. WISP-чипы накапливают энергию в очень малых количествах и поэтому работают в импульсном режиме. В случае с датчиком контроля воздуха, устройство большую часть времени работает в пассивном режиме, аккумулируя энергию, и лишь набрав необходимый заряд, выполняет свою функцию. Компания пока не собирается выпускать коммерческие продукты с WISP-чипами, но готова предоставить лицензии на эту технологию другим производителям.

*InformationWeek*