Основы NanoMaker-Editor

Руководство пользователя

Ред. 24.01.2015

© 1990-2015 Interface Ltd.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКТОР ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ СТРУКТУР 5
GDB файл 5
Разрешение (Resolution) 5
Структуры (Structures) 5
Элементы (Elements) 5
Слои 6
3D атрибут 6
Сетка разрезания (Database Cells) 6
Окно Редактора и Команды Меню 6
Панель Инструментов (Toolbar) 7
Масштаб 7
Шаг курсора 8
Режим показа элементов 8
Уровни иерархии 9
Дизайн структуры 10
Создание новой структуры 10
Удаление структуры 11
Изменение атрибутов существующей структуры 11
Сводная информация о структуре 11
Установка текущих значений атрибутов для новых элементов 12
Создание новых элементов 13
Селектирование (выделение) элементов 15
Удаление 16
Удаление с возможностью вставки 16
Копирование 16
Вставка 16
Отмена Удаления / Вставки 17
Создание других элементов 17
Преобразования элементов 23
Разгруппировка (Ungroup) 29
Проектирование с использованием фонового изображения 29
Сохранение 30
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ СТРУКТУР 31
Создание структуры дозового клина 31

РЕДАКТОР ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ СТРУКТУР

GDB файл

Редактор NanoMaker предназначен для создания и редактирования многоуровневых иерархических литографических структур. Созданные литографические структуры сохраняются в файлах данных с расширением *.GDB. Формат GDB файла был специально разработан для эффективного хранения и доступа к существенной информации о литографических структурах. Данные в GDB файле сохраняются в бинарной форме. В дальнейшем GDB файл и литографическая структура будут являться синонимами.

Основной конструкционной единицей литографической структуры и GDB файла, соответственно, является именованная Структура (Structure). Каждый GDB файл может включать одну или большее количество структур. Каждая из структур, в свою очередь, состоит из набора геометрических объектов - Элементов (Element) расположенных на плоскости.

Разрешение (Resolution)

Каждый GDB файл характеризуется параметром Разрешение (Resolution).

Разрешение это наименьший шаг курсора редактора, который может быть использован при создании элементов. Кроме того, от величины Разрешения зависят максимальные габариты Структуры. Разрешение должно быть определено в момент создания GDB файла. По умолчанию новый файл создается с Разрешением 1 нм. Габариты Структур в таком файле ограничены размерами от -1000 мм до 1000 мм. При выборе величины Разрешения руководствуйтесь тем правилом, что величина Разрешения должна быть, по крайней мере, на порядок лучше минимального размера проектируемых элементов, что позволит обеспечить достаточную точность их проектирования. После создания GDB файла Разрешение в нем не может быть изменено. Если все-таки разрешение при проектировании структуры необходимо повысить, создайте новый файл с более высоким разрешением и скопируйте в него уже созданные элементы.

Структуры (Structures)

Каждая структура должна иметь имя. Имя структуры в пределах файла GDB должно быть уникальным. Длина имени ограничена 255 символами. Имя структуры может быть образовано буквами латинского алфавита, цифрами и некоторыми другими символами. Имена структур задаются с учетом регистра букв. Т.е. в одном файле могут существовать две разных структуры, одна из которых может называться, например, a1, а другая A1.

При создании GBD файла, по умолчанию, создается одна структура с именем MAIN. Эта структура не может быть ни удалена из файла, ни переименована. По мере необходимости в GDB файл могут быть добавлены дополнительные структуры. Максимальное их число не может превысить 32767 (2^{15}-1).

Элементы (Elements)

В настоящий момент в формате GDB файла существует восемь типов элементов. Три из них базовые - Point, Line и Contour (Polygon). Более специфическими элементами являются Time&Date, Comments, Structure reference, Dose map и Reference map, которые перед экспонированием приводятся к совокупности базовых элементов. Кроме того, для удобства проектирования существует несколько производных от Contour элементов, которые преобразуются в

контуры немедленно после завершения ввода. К ним относятся: Rectangle, Ring, Circle, Text.

Базовые элементы задаются соответствующим набором координат и характеризуются следующими атрибутами: Доза экспонирования (Dose), 3D атрибут (3D Attribute), Слой (Layer). Где,

Доза экспонирования – относительная величина в процентах к чувствительности резиста (T/T_0), показывающая во сколько раз время экспонирования одной точки данного элемента отличается от времени экспонирования одной точки элемента со 100%-ой дозой,. Величина этого атрибута может варьироваться в пределах от 0% – 3200% с точностью 0.1%. Подробнее о чувствительности резистов см. HELP.

3D атрибут - это признак, который актуален только для 3D структур, когда необходимо создать структуру с заданным трехмерным профилемю Он может нести различный смысл в зависимости от поставленной задачи. Например, 3D атрибут может задавать толщину остаточного резиста или величину фазового сдвига. В последнем случае, с помощью линейного преобразования атрибут может быть приведен к толщине резиста. Значение этого атрибута может варьироваться от -3200% - 3200% с точностью 0,1%.

Слой – величина определяет принадлежность данного элемента к одному из 256-ти слоев. Величина этого атрибута может варьироваться в диапазоне 0 – 255.

Специфические элементы обладают некоторыми дополнительными атрибутами, которые будут перечислены ниже, при описании этих элементов.

Слои

Каждая структура может содержать 256 слоев (от 0-го до 255-го) и позволяет распределять элементы по этим слоям для технологических нужд, например для многослойной литографии с совмещениями слоев.

3D атрибут

Для создания трехмерной (3D) литографической структуры в GDB файле должен быть установлен 3D признак.

Сетка разрезания (Database Cells)

Для оптимизации решения некоторых задач, связанных с подготовкой к экспонированию или непосредственно с экспонированием, внутреннее пространство структуры может быть разделено квадратной сеткой на ячейки. Шаг сетки произвольный. Элементы структуры, пересекающиеся сеткой, разрезаются ею на отдельные элементы по границам сетки. При наличии сетки, все операции с элементами выполняются последовательно при обходе каждой из ячеек сетки. Сначала выполняются операции с элементами внутри одной ячейки и уже только затем с элементами следующей ячейки. Т.е. сетка организует последовательность работы с элементами структуры. При экспонировании с переездами стола, разрезание структуры сеткой является обязательным. Сетка разрезания создает подполя (определяет их размеры), между которыми осуществляются переезды. Сетка разрезания рисуется оранжевым цветом.

Окно Редактора и Команды Меню

При открытии существующего или создании нового GBD файла открывается как минимум одно окно - view, в котором отображается структура MAIN. Каждая из содержащихся в GDB файле структур может быть открыта в отдельном окне для просмотра и редактирования.

Для того чтобы создать новый GDB файл выберите команду **New Data Base...** в меню **File** (**File->New Database...**). В диалоге **New Database File** оставьте все поля без изменений и нажмите кнопку **OK**.

В новом файле существует только одна структура MAIN, которая изначально пуста, т.е. не включает ни одного элемента.

В заголовке окна редактора присутствуют имя файла, имя структуры, атрибут пространственного измерения (2D или 3D) и порядковый номер окна, разделяемые двоеточием, например как на Рис 1.

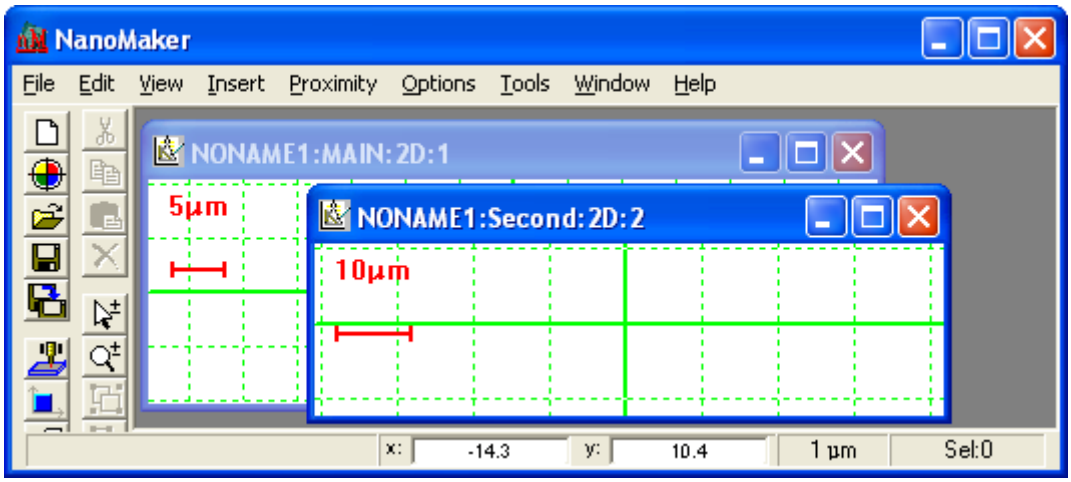

Рис. 1. Главное окно программы внутри которого отрыты окна редактора, отображающие вновь созданные структуры MAIN и Second.

При начальных установках параметров окна редактора в левом верхнем углу окна красным цветом изображается мерный отрезок (масштабная шкала), а пространство окна расчерчивается координатной сеткой, которая рисуется зеленым цветом. Через центр системы координат проходят две утолщенных линии, отмечающие положение осей координат. Шаг сетки всегда равен мерному отрезку.

Текущие координаты курсора, который в окне редактора всегда совмещен с указателем мыши, отображаются в двух редактируемых полях, лежащих на нижнем обрамлении главного окна программы. Эти координаты всегда показываются в микронах. Правее них, в следующем поле отображается шаг курсора в соответствующих единицах измерения. В крайнем правом поле показывается количество селектированных элементов (см. Рис 1).

Панель Инструментов (Toolbar)

Слева, на обрамлении главного окна программы NanoMaker располагается панель Инструментов (см. Рис 1). На этой панели, в два вертикальных ряда располагаются кнопки для быстрого доступа к основным командам и диалогам программы (левый ряд) и к командам редактора (правый ряд).

Масштаб

При открытии окна масштаб выбирается таким, чтобы вся структура была видна полностью. В дальнейшем, при изменении масштаба отображения структуры, изменяется размер мерного отрезка и, соответствующим образом, изменяется шаг сетки.

Для быстрого изменения масштаба используйте колесо мыши или клавиши **/** и ***** на цифровой клавиатуре. Обратите внимание, что увеличение или уменьшение отображаемого поля производится относительно текущего положения курсора. Таким образом, для удобства редактирования можно переме-

щать в центр окна различные участки дизайна структуры при этом увеличивая или уменьшая масштаб отображения.

Для того чтобы подвинуть отображаемый фрагмент структуры без изменения масштаба, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее, переместите указатель в нужное положение в окне и затем отпуститете кнопку.

Для того чтобы увидеть всю структуру целиком, нажмите клавишу **=**.

Шаг курсора

Шаг курсора - это расстояние, на которое перемещается курсор в окне редактора при нажатии на любую клавишу-стрелку. Шаг курсора может задаваться в широком диапазоне, который также зависит от Разрешения файла. Когда создается новый файл с Разрешением по умолчанию 1 нм, шаг курсора равняется 1 мкм, что является достаточно удобным.

Для быстрого изменения шага курсора используйте клавиши **+** и **-** на цифровой клавиатуре.

Для того чтобы точно переместить курсор в ближайший узел координатной сетки, например при создании нового элемента, нажмите клавишу **Shift**.

Режим показа элементов

Редактор NanoMaker поддерживает несколько режимов отображения элементов.

Режим показа контуров

По-умолчанию, при открытии окна редактора всегда устанавливается режим показа контуров-слоев. В этом режиме элементы в видимых слоях отображаются в виде разноцветных обрамляющих контуров. Цвет контура зависит от номера слоя. Соответствие задается через диалог выбора палитры, представленный на Рис. 2. Всего возможно задание 16-ти различных цветов, которые будут кодировать первые 16 слоев и периодически повторяться во всех последующих слоях.

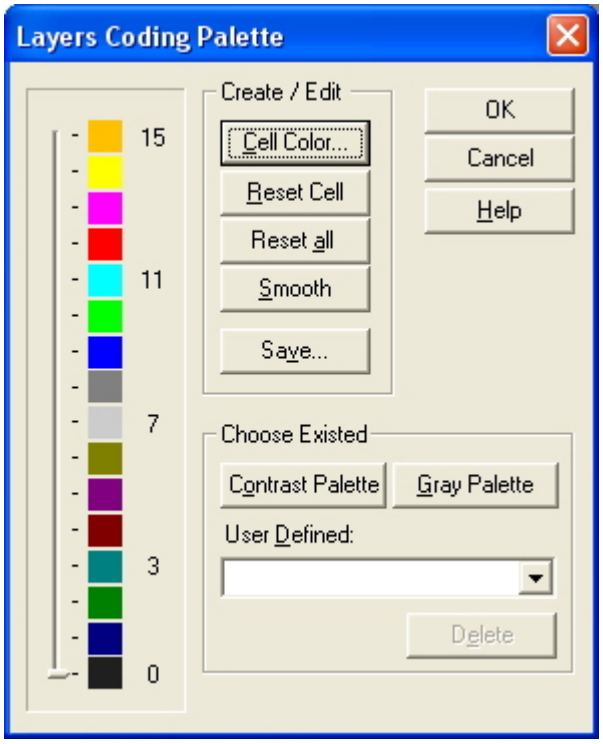

Рис. 2 Определение палитры кодирования слоёв в диалоге ***Layers Coding Palette***

Включить режим показа контуров можно командой меню **View->Redraw->Contour** или комбинацией клавиш **Alt+C** или нажатием кнопки на панели Инструментов.

Режим показа дозы

В режиме показа дозы элементы в видимых слоях отображаются в виде разноцветных закрашенных областей. Каждый цвет закраски кодирует определенный дозовый интервал. При включении данного режима дополнительно открывается панель с цветной шкалой, разделенная на 16 таких интервалов. Диапазон отображаемых доз задается в полях **Min Level [%]** и **Max Level [%]** на закладке **Editor** диалога **View Options** (чтобы открыть диалог **View Options** выберите команду меню **Options->View...**). А цветовое соответствие задается в диалоге выбора палитры **Dose Coding Palette**. Чтобы открыть данный диалог, в закладке **Editor** нажмите кнопку **Dose Palette...**. Диалог **Dose Coding Palette** подобен тому, что изображен на Рис. 2 для цветового кодирования слоев. Всего возможно задание 16-ти различных цветов, которые будут кодировать 16 дозовых интервалов внутри заданного диапазона. Если доза элемента лежит за пределами нижней или верхней границ заданного диапазона, данный элемент будет отображаться в цветах самого нижнего или самого верхнего интервала, соответственно.

Изначально, для дозовых интервалов установлена контрастная палитра (Contrast Palette), которую можно переопределить по своему усмотрению.

Включить режим показа дозы можно командой меню **View->Redraw->Dose** или комбинацией клавиш **Alt+D** или нажатием кнопки на панели инструментов.

Режим показа 3D атрибута

В режиме показа 3D атрибута элементы в видимых слоях отображаются в виде разноцветных закрашенных областей. Каждый цвет закраски кодирует определенный интервал величин 3D атрибута. При включении данного режима открывается также панель с цветной шкалой, разделенная на 16 таких интервалов. Соответствие 3D атрибута и цвета задается через диалог выбора палитры, где задаются диапазон отображаемых величин 3D атрибута и выбирается соответствующий им цвет.

Включить режим показа 3D атрибута можно командой меню **View->Redraw->3D Attribute** или комбинацией клавиш **Alt+3**.

Показ слоев (активные слои)

Существуют и другие опций отображения элементов структуры в окне редактора, например, запрет показа элементов лежащих в каком-либо из слоев. По умолчанию, изначально для каждой структуры устанавливается режим показа всех имеющихся в ней слоев. Для того чтобы отменить показ каких-либо из имеющихся слоев, выберите команду меню **View->Redraw->Layers...** или нажмите комбинацию клавиш **Alt+Y**. Затем, в открывшемся диалоге **Active Layers** оставьте селектированными только те слои, которые должны остаться видимыми, и нажмите кнопку **OK**.

Большинство редакторских операций (удаление, трансформация, группировка, разгруппировка и др.), а также экспонирование выполняются только для элементов в видимых (активных) слоях, даже если эти элементы были селектированы до того как оказались в неотображаемых слоях.

Уровни иерархии

При показе иерархических структур в окне редактора, по умолчанию показывается самый верхний (0-ой) уровень иерархии. Нажимайте клавиши 1, 2, 3 или 4 для показа следующих уровней иерархии – первого, второго, третьего или до самого нижнего уровня, соответственно. Переключение показываемых уровней иерархии можно выполнять также командами меню **View->Hierarchy**.

Дизайн структуры

Создание новой структуры

Как было сказано выше, при открытии нового файла, создается только одна структура с именем MAIN. Для добавления новых структур в файл откройте диалог **Edit Structure** (**Edit->Structure...**) и нажмите в нем кнопку **New** (см. Рис 3). В открывшемся диалоге **New Structure** введите имя новой структуры, которое должно быть уникальным, в рамках данного файла. Нажмите на кнопку **OK** чтобы закрыть диалог **New Structure**. Новая структура будет создана при закрытии диалога и ее имя будет добавлено в список в диалоге **Edit Structure**. Подобным же образом может быть добавлено любое необходимое количество новых структур. Чтобы открыть вновь созданную структуру в окне редактора, выберите ее в списке и нажмите кнопку **Edit**.

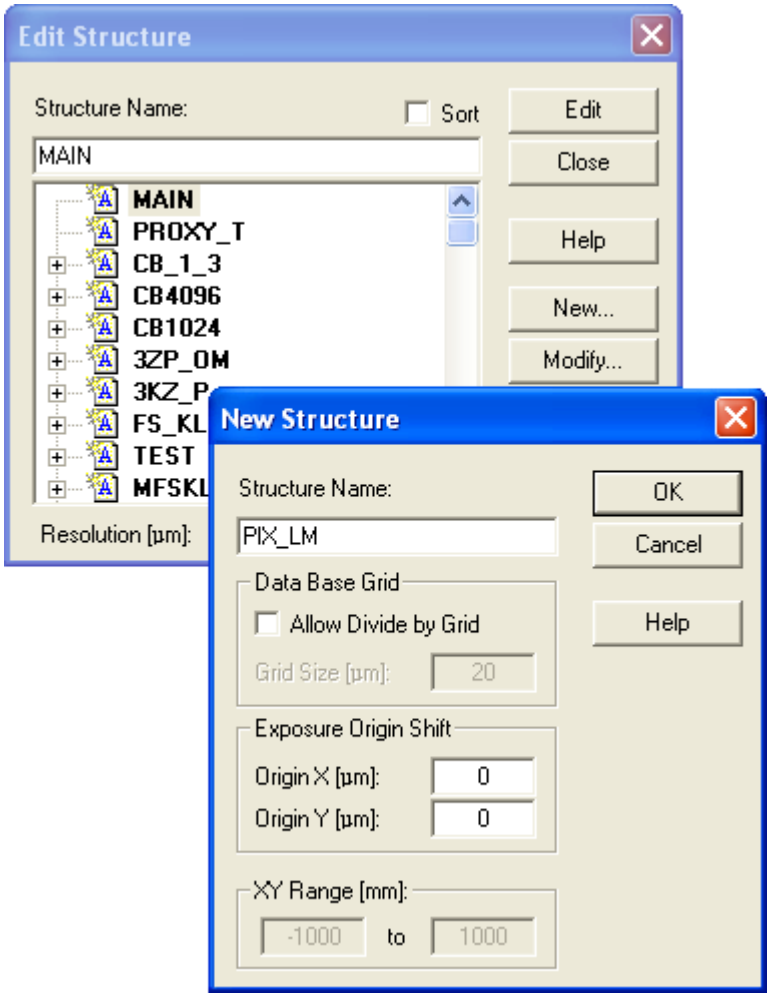

*Рис. 3 Создание новой структуры в диалоге **New Structure***

Новая структура может быть создана на основе дизайна уже существующей структуры. Например, если необходимо какую-то часть элементов переместить или скопировать в отдельную структуру, выделите эти элементы и выбе-

рите команду меню **Edit->Group...**. В результате этих действий откроется диалог **Group to Structure**. Задайте имя для новой структуры и отметьте галочкой чекбокс **Delete Elements**, если вы хотите чтобы в результате операции селектированные элементы оказались только в новой структуре. Отметьте галочкой **In New Editor Window**, если вы хотите, чтобы после закрытия диалога открылось окно редактора со вновь созданной структурой.

Удаление структуры

Для удаления структуры из файла, откройте диалог **Edit Structure** (**Edit->Structure...**), селектируйте структуру в списке и нажмите кнопку **Delete**. В результате этой операции структура и все входящие в нее ее элементы будут удалены безвозвратно.

Изменение атрибутов существующей структуры

Для того чтобы переименовать существующую структуру откройте диалог **Edit Structure** (**Edit->Structure...**), выберите структуру в списке и нажмите кнопку **Modify**. В открывшемся диалоге **Modify Structure** измените имя структуры. Новое имя также должно соответствовать требованиям наименования структур, которые были описаны выше в разделе **Структуры (Structures)**.

Кроме того, диалог **Modify Structure** позволяет изменить шаг сетки разрезания.

Если разрезание не было еще задано, отметьте чекбокс **Allow Divide by Grid** и задайте требуемый шаг сетки в поле **Grid Size [um]**.

Если необходимо отменить разрезание по сетке, снимите отметку с чекбокса **Allow Divide by Grid**.

Далее, диалог позволяет определить сдвиг начала координат структуры относительно центра поля экспонирования (Scan Field). Начало координат структуры - это точка с координатами 0,0 в дизайне.

Зачастую структуры проектируются несимметричными относительно центра координат. Поэтому, иногда при экспонировании структура может не помещаться в границах поля, притом, что собственные габаритные размеры структуры не будут превышать габариты поля экспонирования. Это происходит потому, что начало координат дизайна совмещается с центром поля экспонирования по умолчанию. Чтобы устранить эту проблему задайте смещение начала координат в полях **Origin X [um]** и **Origin Y [um]**.

Параметры **XY Range [mm]** дают справку о максимальных возможных габаритах структуры при данном разрешении файла структуры. Подробнее о максимальных возможных габаритах было сказано выше в разделе **Разрешение (Resolution).**

Нажмите кнопку **OK** для того чтобы закрыть диалог и произвести изменения.

Сводная информация о структуре

Для показа сводной информации о структуре выберите команду меню **View->Summary...** или нажмите комбинацию клавиш **Alt+=**. В диалоге **Summary of "<наименование>" Structure** выводится информация о габаритах структуры, общем количестве элементов, количестве среди них вставок структур и селектированных элементов. Далее следует информация о таких атрибутах как, разрешение, шаг сетки разрезания и наличие 3D признака. И ниже информация о существующих слоях.

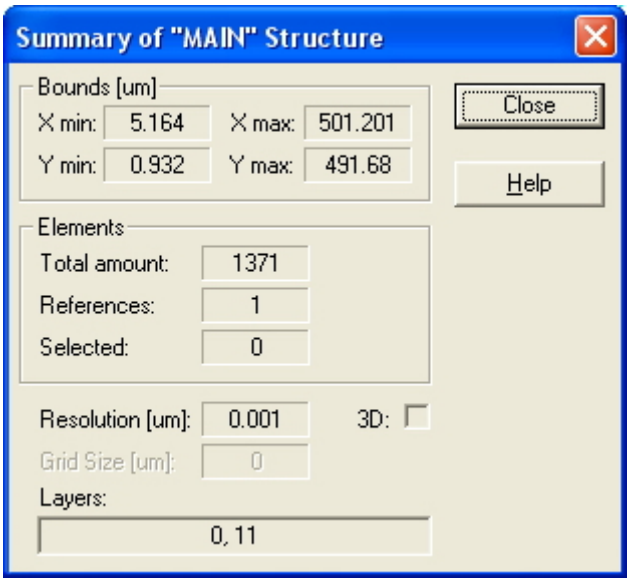

Рис. 4 Диалог сводной информации о структуре

Установка текущих значений атрибутов для новых элементов

Итак, для того чтобы начать проектирование новой структуры или отредактировать уже существующий дизайн, нужно открыть окно редактора содержащее данную структуру. Как это сделать написано в предыдущем разделе.

Перед началом ввода новых элементов откройте диалог **Attributes** (командой **Insert->Attributes...** или нажатием на клавишу **A**) для того чтобы установить значения нескольких параметров, которые будут использованы в атрибутах новых элементов.

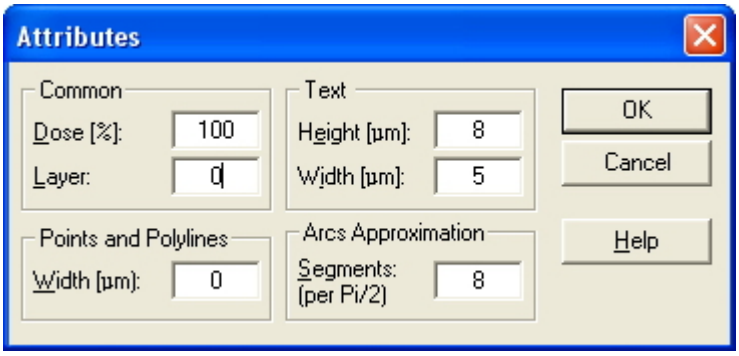

*Рис.5 Установка исходных значений атрибутов в диалоге **Attributes***

В исходных установках диалога:

- доза (**Dose**) эквивалентна 100%;
- слой (**Layer**) задан 0;
- ширина (**Width**) точек и полилиний эквивалентна 0 мкм;
- высота (**Height**) и ширина (**Width**) символов вводимого текста эквивалентна 8 мкм и 5 мкм, соответственно;
- количество сегментов для аппроксимации дуги в $\pi/2$ градусов при вводе колец и окружностей (**Segments**) эквивалентно 8.

Если необходимо, измените эти параметры и закройте диалог нажатием на кнопку **OK**. Теперь, каждый вновь создаваемый вами элемент структуры будет иметь значения атрибутов в соответствии с величинами, установленными в этом диалоге. Если после ввода некоторого количества элементов, необхо-

димо изменить какой-либо из параметров для ввода последующих элементов, откройте вновь диалог **Attributes** и измените его величину.

Создание новых элементов

Существует несколько способов **ввода** базовых **элементов с помощью клавиатуры и мыши**. Рассмотрим пример ввода прямоугольного элемента. Для входа в режим вставки можно использовать команду меню **Insert->Rectangle** или просто нажатие на клавишу **R** (или кнопку на панели Инструментов). Свидетельством перехода в данный режим будет появление курсора соответствующего вида и захват указателя мыши внутри окна. Далее можно использовать такие приемы:

Графический ввод с помощью мыши

Передвиньте указатель мыши к точке первой вершины вводимого вами элемента. Для точного попадания в необходимые вам координаты, поверните колесо мыши, чтобы увеличить масштаб до достаточной точности. Нажмите левую кнопку мыши, чтобы ввести первую вершину. Если необходимо, уменьшите масштаб и переместите указатель мыши к точке следующей (противоположной в случае прямоугольника) вершины. Если это необходимо для точного попадания в необходимые вам координаты, вновь увеличьте масштаб. Нажмите левую кнопку мыши, чтобы завершить ввод элемента. До тех пор, пока ввод не завершен, отменить предыдущую введенную вершину можно нажатием на правую кнопку мыши.

Графический ввод с клавиатуры

Передвиньте указатель мыши к точке первой вершины и оставьте мышь в покое. Далее, используя клавиши-стрелки, установите курсор в необходимые вам координаты. При этом, для точного попадания в необходимую точку, используйте комбинированно клавишу **Shift,** для прыжка курсора в точно в узел координатной сетки, клавиши **-** и **+** для изменения шага курсора, клавиши **/** и ***** для изменения масштаба. Когда курсор окажется в правильной позиции, нажмите клавишу **Space** для ввода вершины. В случае ошибки, с помощью клавиши **Backspace** ввод вершины можно отменить. Используя клавиши-стрелки (или мышь) переместите курсор к следующей (противоположной) вершине. Если необходимо, вновь используйте клавиши **-** и **+** для изменения шага курсора, клавиши **/** и ***** для изменения масштаба. Когда курсор окажется в правильной позиции, нажмите клавишу **Space** для ввода вершины и завершения ввода прямоугольного элемента.

Ввод с клавиатуры в цифровом виде

Нажмите клавишу **X**, для того чтобы установить фокус ввода с клавиатуры в поле показа (и ввода) текущих координат курсора, лежащее на нижнем обрамлении фрейма программы. Введите в числовом виде **X**-координату первой вершины элемента. Нажмите клавишу **Tab** чтобы переместить фокус ввода в поле показа **Y**-координаты и введите в это поле в числовом виде **Y**-координату вершины. Нажмите клавишу **Enter** чтобы вернуть фокус в окно редактора. Нажмите клавишу **Space** для ввода вершины элемента. Снова нажмите клавишу **X**, для того чтобы установить фокус ввода с клавиатуры в поле показа текущих координат курсора и повторите снова все описанные выше действия для ввода следующей вершины элемента.

Любые из приведенных способов можно комбинировать произвольным образом исходя из индивидуальных предпочтений.

Для удобства ввода нескольких однотипных элементов, до начала ввода установите режим множественного ввода. Сделать это можно выбором ко-

манды **Insert->Multiple Mode** (либо нажатием клавиши **H** или нажатием самой нижней кнопки на панели Инструментов в правом ряду). Если установлен данный режим, тогда можно вводить однотипные элементы, например прямоугольники, последовательно, один за другим, выбрав ввод такого элемента только единожды перед началом первого ввода. Для выхода из режима множественного ввода нажмите клавишу **Esc**.

В общем случае, при вводе элементов различных типов с произвольным количеством вершин, ввод вершины обычно выполняется нажатием на клавишу **Space** или левую кнопку мыши. Завершение ввода элемента производится нажатием на кнопку **Enter** или двойным щелчком на левую кнопку мыши. Отмена только что введенной вершины выполняется нажатием на клавишу **Backspace** или правую кнопку мыши. Выход из режима ввода производится нажатием на клавишу **Esc** или двойным кликом на правую кнопку мыши.

Цифровой ввод с помощью диалога

Существует также возможность ввода базовых элементов в цифровом виде используя поля ввода в диалоге. Для ввода, например прямоугольника, выберите команду меню **Insert->Numerically->Rectangle**. В открывшемся диалоге выберите первую строчку в окне **Element's Nodes [um]**, которая содержит координаты одной из вершин прямоугольника (условно она названа как левая нижняя вершина). Сделайте строку доступной для редактирования, нажатием на клавишу **Space** (или кликом левой кнопки мыши, или выбором команды **Edit** в контекстном меню, всплывающем после клика на строке правой кнопки мыши). Введите необходимые вам координаты вершины вместо имевшихся чисел в строке. Обязательно оставьте разделяющий координаты **X** и **Y** пробел. Перейдите ко второй строке в окне и отредактируйте координаты противоположной вершины (см. Рис. 6). Нажмите кнопку **Apply** для ввода элемента без выхода из диалога и продолжите ввод следующего прямоугольника подобным образом.

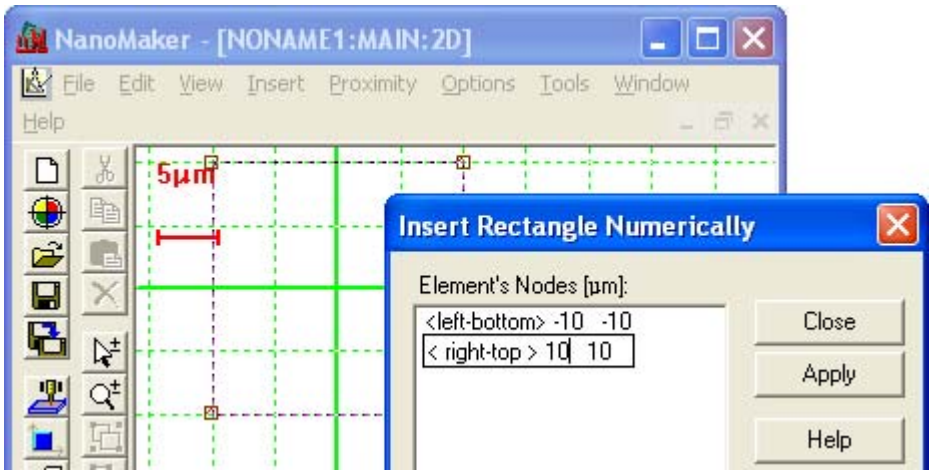

*Рис.6 Ввод прямоугольника с помощью диалога **Insert Rectangle Numerically***

Подобным образом могут вводиться точки (Points), полилинии (Polyline), прямоугольники (Rectangle), контуры (Contour), окружности (Circle) и кольца (Ring).

При вводе окружности или кольца первая вводимая позиция или величина определяют положение центра, а последующие радиус(ы) окружности(ей).

Создание других, более сложных типов элементов будет описано позднее.

Селектирование (выделение) элементов

Любые операции в редакторе по преобразованию элементов, связанные с преобразованиями формы или атрибутов, а также удаление и размножение выполняются только для селектированных элементов. Количество выделенных элементов в структуре можно видеть в крайнем правом поле, лежащем на нижнем обрамлении окна программы.

Для того чтобы селектировать все элементы в структуре, нажмите комбинацию клавиш **Alt+A** или выберите команду меню **Edit->Select->All**.

Для того чтобы селектировать только нужные элементы, воспользуйтесь одной из команд в меню **Edit->Select**:

- **In** – позволяет селектировать элементы, находящиеся полностью внутри произвольно очерченной прямоугольной области
- **At** – позволяет селектировать элемент, внутрь границ которого помещен курсор
- **Layer...**– позволяет селектировать элементы, лежащие в выбранных слоях
- **Reference...**– позволяет селектировать элементы, являющиеся ссылками на выбранные в списке структуры.

Для того чтобы отменить селектирование всех элементов в структуре, нажмите комбинацию клавиш **Shift+Alt+A**.

Для того чтобы отменить селектирование только нужных элементов, воспользуйтесь одной из команд в меню **Edit->Unselect**:

- **In** – позволяет отменить селектирование элементов, находящихся полностью внутри произвольно очерченной прямоугольной области
- **At** – позволяет отменить селектирование элемента, внутрь границ которого помещен курсор
- **Layer...** – позволяет отменить селектирование элементов, лежащих в выбранных слоях
- **Reference...** – позволяет отменить селектирование элементов, являющихся ссылками на выбранные в списке структуры.

Кроме рассмотренных выше вариантов, можно воспользоваться режимами селектирования/деселектирования с помощью указателя мыши. Чтобы перевести курсор в режим селектирования, выберите команду меню **Edit->Select Mode** или нажмите комбинацию клавиш **Alt+M** (или нажмите кнопку на панели Инструментов). В этом режиме:

- Двойной клик левой кнопки мыши в окне редактора позволяет селектировать все элементы структуры.
- Одиночный клик левой кнопки мыши над элементом позволяет селектировать только данный элемент.
- Нарисованный с помощью прижатой левой клавиши мыши штриховой прямоугольный контур отмечает все элементы, помещающиеся внутрь данного прямоугольника.
- Клик правой кнопки мыши обращает режим селектирования в режим отмены селектирования. Теперь:
    - Двойной клик левой кнопки мыши в окне редактора позволяет деселектировать все элементы структуры.
    - Одиночный клик левой кнопки мыши над элементом позволяет деселектировать только данный элемент.

  - Нарисованный с помощью прижатой левой клавиши мыши штриховой прямоугольный контур позволяет деселектировать все элементы помещающиеся внутрь данного контура.

- Каждый новый клик правой кнопки мыши инвертирует режим селектирования. Текущий режим селектирования/деселектирования легко устанавливается по типу курсора. В режиме селектирования в курсоре присутствует плюс . При деселектировании в курсоре присутствует минус .

Выход из режима селектирования производится нажатием на клавишу Esc или двойным кликом на правую кнопку мыши.

Удаление

Для удаления сначала селектируйте элемент(ы), затем нажмите клавишу **Delete** (или выберите команду меню **Edit->Clear** или кнопку на Инстументальной панели).

Удаление с возможностью вставки

Для удаления элемента(ов) с возможностью последующей вставки (через буфер копирования), сначала селектируйте элемент(ы), а затем нажмите комбинацию клавиш **Shift+Delete** (или выберите команду меню **Edit->Cut** или кнопку на Инстументальной панели).

Копирование

Для того чтобы копировать (поместить в буфер копирования) один или несколько элементов структуры, селектируйте их вначале. Затем выберите команду меню **Edit->Copy** или нажмите комбинацию клавиш **Ctrl+Insert** (или кнопку на панели Инструментов).

Вставка

Для того, чтобы вставить в структуру элемент(ы), ранее помещенный(е) в буфер копирования (clipboard) процедурами копирования или удаления, выберите команду меню **Edit->Paste** или нажмите комбинацию клавиш **Shift+Insert** (или кнопку на панели Инструментов). Сразу после этого включается режим вставки: указатель мыши захватывается в окне, появляется специальный курсор, контур(ы) вставляемого(ых) элемента(ов) рисуется штриховыми линиями в поле структуры. Геометрический центр контура(ов) отмечается штриховым перекрестьем. При нахождении указателя мыши над образом элемента(ов), внутри воображаемой прямоугольной области, описывающей его вершины, курсор имеет форму указателя с перекрестьем . Если же указатель мыши находится вне воображаемой прямоугольной области, курсор имеет форму указателя с незамкнутой окружностью , символизирующей операцию поворота.

Для того чтобы передвинуть контуры в нужное место структуры, поместите курсор внутрь воображаемой прямоугольной области, захватите образ нажатием на левую кнопку мыши и, удерживая ее в таком состоянии, переместите в нужное место и затем отпустите кнопку.

Если необходимо развернуть вставляемый(е) элемент(ы), поместите курсор вне воображаемой прямоугольной области, захватите образ нажатием на левую кнопку мыши и, удерживая ее в таком состоянии, перемещайте курсор по

дуге большой окружности, описывающей образ, до тех пор, пока контур(ы) не примут желаемое положение и затем отпустите кнопку.

Если до нажатия на левую кнопку мыши указатель находится вблизи геометрического центра образа на расстоянии меньшем половины шага курсора, то при нажатии на нее (кнопку мыши) указатель прыгнет в положение геометрического центра. И, таким образом, при дальнейшем перемещении образа будет проще контролировать его положение. Для большего удобства и точности используйте клавиши-стрелки для перемещения образа с шагом курсора. Если необходимо, используйте клавиши **-** и **+** для изменения шага курсора, а также клавиши **/** и ***** (колесо мыши) для изменения масштаба.

Для вставки элемента(ов) в нужном месте нажмите клавишу **Enter** или дважды кликните левую кнопку мыши.

Для отмены вставки нажмите клавишу **Esc** или дважды кликните правую кнопку мыши.

Кстати, вставлять элементы можно, как в данную структуру, где они были скопированы, так и в любую другую в данном файле, а также и в другую литографическую структуру.

Отмена Удаления / Вставки

Для отмены последних операций по удалению / вставке элементов воспользуйтесь командами меню **Edit->Undo** (либо комбинацией клавиш **Ctrl+Z**) или **Edit->Redo** (либо комбинацией клавиш **Ctrl+Shift+Z**).

Создание других элементов

Text

Для того чтобы добавить надписи в дизайн структуры удобно использовать элемент Text.

Используя поле редактирования в диалоге **Insert Text**, который вызывается командой меню **Insert->Text...** или просто нажатием на клавишу **T** (или на кнопку на панели Инструментов), можно набрать нужный текст и должным образом его сформатировать. В тексте можно использовать прописные и строчные буквы латинского или кириллического алфавита, цифры и другие символы клавиатуры. После закрытия диалога клавишей **OK**, включается режим вставки: указатель мыши захватывается в окне, появляется соответствующий курсор , к которому прицеплен образ вводимого текст. Переместите курсор в нужное место структуры и расположите текст нужным образом. Используйте клавиши **/** и ***** (или колесо мыши) для изменения масштаба окна редактора, комбинацию клавиш **Shift**+**/** и **Shift**+***** для изменения размера символов в тексте, комбинацию клавиш **Shift+R** для поворота образа с шагом 15 градусов.

Для ввода элемента нажмите клавишу **Return** или левую клавишу мыши. При вводе Text преобразуется в набор независимых контуров и как единый элемент более не существует.

Time&Date

Специальный элемент, который встраивается в дизайн структуры для того, чтобы зафиксировать дату и время экспонирования.

Для того чтобы вставить элемент выберите команду меню **Insert->Time&Date** (или нажмите кнопку на панели Инструментов). Далее, в режиме вставки используйте действия и команды, описанные выше для элемента Text, чтобы расположить элемент Time&Date нужным образом, с нужными размерами в нужном месте структуры.

В отличие от элемента Text, при вставке, элемент Time&Date не трансформируется в набор контуров, а существует как единый элемент с некоторыми специфическими свойствами. Так, габаритные размеры элемента определяются примерно, зависят от формата представления даты и времени и постоянно колеблются в небольших пределах в соответствии с текущим временем. Необходимо это учитывать при вставке данного элемента в дизайн структуры. Далее, при выборе дозы для элемента Time&Date, необходимо учитывать, что процедура коррекции эффекта близости не корректирует его дозу и не учитывает его присутствие вблизи корректируемых элементов.

Для того чтобы изменить формат представления даты и времени, а также добавить комментарии – селектируйте только данный элемент и используйте команду меню **Edit->Modification...**. Подробное описание форматов представления и примеры можно найти в Help по данной теме.

Дополнительными атрибутами элемента Time&Date являются строка формата представления даты и времени, а также матрица преобразования координат.

Comments

Данный элемент также как и Text может использоваться для добавления надписей и комментариев в дизайн структуры. Для того чтобы вставить элемент выберите команду меню **Insert->Comments** и в открывшемся диалоге наберите текст комментария. Длина строки ограничена 255 символами. Нажмите кнопку **OK** и, далее, в режиме вставки используйте действия и команды, описанные выше для элемента Text, чтобы расположить элемент Comments нужным образом, с нужными размерами в нужном месте структуры.

В отличии от элемента Text, надпись в котором можно сформатировать в несколько строк, текст в Comments существует в виде одной строки. Как и элемент Time&Date, Comments не трансформируется в набор контуров при вставке, а существует как единый элемент со специфическими свойствами. В частности, текст комментария может быть полностью подменен специальной командой при экспонировании в командном режиме (Batch Processing). Детали смотрите в Help по командному режиму. Замена текста может привести к изменению габаритов элемента. Этот факт необходимо учитывать при вставке данного элемента в дизайн структуры. Далее, при выборе дозы для элемента Comments, подобно Time&Date, необходимо учитывать, что процедура коррекции эффекта близости не корректирует его дозу и не учитывает его присутствие вблизи корректируемых элементов.

Для того чтобы изменить текст комментария на этапе дизайна – селектируйте только данный элемент и используйте команду меню **Edit->Modification...**.

Дополнительными атрибутами элемента Comments являются строка комментария, а также матрица преобразования координат.

Structure reference

Для оптимизации дизайна структуры и уменьшения размеров файла данных повторяющиеся элементы могут быть вынесены в отдельную новую структуру в данном файле с помощью диалога **Group To Structure** (**Edit->Group...**), ссылка на которую затем может быть вставлена в исходную структуру в нужное место. Таким образом, исходная структура становится иерархической, включающей в себя ссылку на другую структуру из данного файла. Подобные ссылки на вставляемую структуру (элементы Structure reference) могут быть

добавлены сколь угодно много раз в произвольные места исходной структуры. При вставке каждая ссылочная структура может быть повторена многократно с заданным шагом в горизонтальном и вертикальном направлениях (Array of Structure references), повернута на произвольный угол, увеличена или уменьшена. В свою очередь, любая из вставляемых структур может включать ссылки на другие структуры из данного GDB файла, образуя следующий уровень иерархии и т.д. Не допускается только рекурсивное зацикливание ссылок на структуры, но за этим следит сама программа и не разрешит выполнить такую вставку.

Для того чтобы вставить элемент Structure reference выберите команду меню **Insert->Structure...** и в открывшемся диалоге выберите вставляемую структуру из списка **Structure Name** (см. Рис 7). Определите точку вставки как сдвиг начала координат вставляемой структуры в полях **Inserting Point**. Задайте, если необходимо, углы поворота в полях **Rotate**, коэффициенты масштабирования в полях **Magnification**, количество повторов и шаги в полях **Repeat**, коэффициент изменения дозы элементов вставляемой структуры в поле **Dose Factor** и нажмите клавишу **OK**.

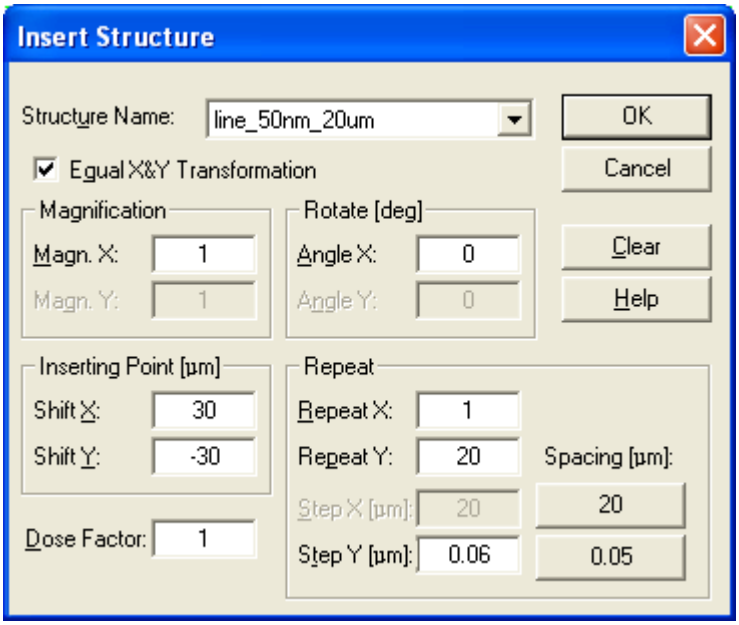

Рис.7 Создание элемента Structure reference посредством диалога Insert Structure

Элемент Structure reference (вставка структуры) изображается прямоугольной областью ограниченной утолщенным контуром голубого цвета. Границы области описывают выступающие вершины элементов вставляемой структуры.

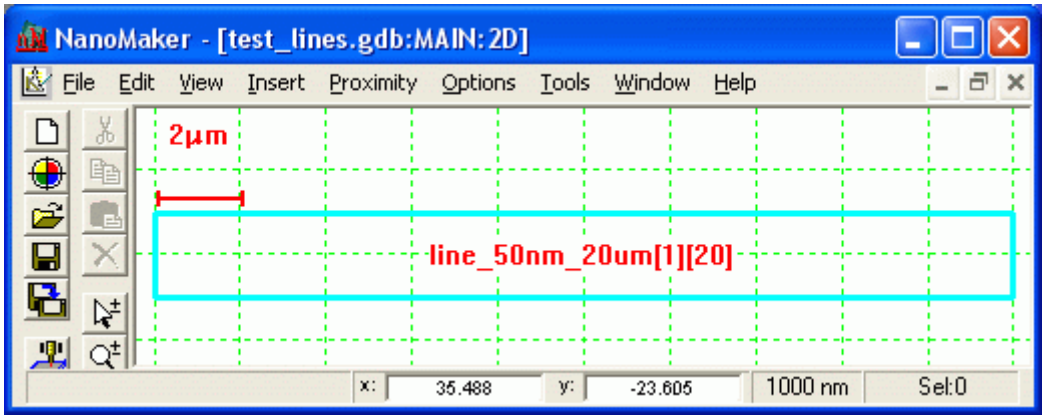

Рис.8 Массив вставок структуры line_50nm_20um в структуру MAIN

По центру Structure reference красным цветом обозначается имя вставляемой структуры. Если структура вставляется с повторами (массив вставок структуры/array of structure references), тогда в надпись, вслед за именем структуры, в квадратных скобках добавляются количества повторов в горизонтальном и вертикальном направлениях, как это представлено на Рис. 8.

В качестве вставляемой структуры может выступать целый файл одного из поддерживаемых форматов GDB, ELM, GDS, DXF. Для того чтобы вставить другой файл как Structure reference в текущий файл выберите команду меню **Insert->File...** и в открывшемся диалоге Open найдите и кликните нужный файл для того чтобы его загрузить. Все структуры выбранного файла будут скопированы в текущий файл. Бывшая структура MAIN из выбранного файла в текущем файле будет носить имя своего бывшего файла. Если в выбранном файле нет структуры MAIN, тогда в текущий файл будет добавлена пустая структура с именем выбранного файла. Новый Structure reference элемент будет ссылаться на структуру названную именем вставленного файла.

Для показа элементов вставляемой структуры в первом уровне иерархии нажмите клавишу **1**.

Элемент Structure reference не имеет атрибутов Доза (Dose), 3D атрибут (3D Attribute), Слой (Layer) и всегда перечисляется в 0 слое. Его атрибутами являются точка вставки, углы поворота, коэффициенты масштабирования, количество и шаги повторов, коэффициент изменения дозы.

Для того чтобы изменить атрибуты Structure reference – селектируйте только данный элемент и используйте команду меню **Edit->Modification...** для открытия диалога **Modification of Structure Reference**.

Специальным случаем вставки структуры является вставка файла (File Insertion) одного из поддерживаемых форматов – GDB, ELM, GDS, DXF. При такой вставке вставляемый файл целиком копируется в данный GDB файл и дальнейшее его отдельное существование уже не является необходимым условием. Вставка файла изображается подобно вставке структуры прямоугольной областью ограниченной утолщенным контуром голубого цвета. Границы области описывают выступающие вершины элементов вставляемой структуры. По центру Structure reference красным цветом обозначается имя вставляемой структуры.

При этом основновной вставляемой структурой является MAIN

Dose map

NanoMaker позволяет проектировать литографические структуры на основе информации заключенной в растровых изображениях. Для выполнения этой задачи служит элемент Dose map. При добавлении такого элемента в исходную структуру, на основе параметров изображения и одной из базовых структур (ею может быть единичный круг, либо единичный квадрат, либо политочка) образуется массив вставок базовой структуры (Array of Structure references), в котором число рядов и столбцов равно ширине и высоте изображения в пикселях, соответственно. Таким образом, каждому пикселю изображения соответствует одна из вставок базовой структуры. Интенсивность пикселя (R+G+B)/3 используется как коэффициент умножения в % при определении результирующей дозы для элементов вставки базовой структуры. По умолчанию, шаги вставок структуры выбираются равными габаритам структуры, так чтобы вставки прилегали плотно друг к другу как пиксели в исходном изображении. При желании, шаги могут быть изменены. Кроме того, массив может быть смаштабирован и повернут. GDB файл, содержащий элементы Dose map должен переноситься совместно с изображениями, на основе которых образованы данные специальные элементы.

Создать элемент Dose map можно одним из двух способов:

- импортировать изображение командой **File->Import->**(по шаблону **TIFF Image Files (*.TIF)** или **Bitmap Image Files (*.BMP)**;
- воспользоваться командой **Insert->Structure with Dose Map...** и вставить в данную структуру массив вставок какой либо из структур из данного файла на основе информации из присоединенного изображения.

На Рис. 9 представлен диалог, который открывается при импорте данных об изображении из выбраного файла. В данном случае выбран файл splnano_15.bmp, который будет являться основой создаваемого Dose map элемента. В качестве заполняющей структуры выбрана CIRCLE_(D_1μm), которая представляет собою кружок диаметром 1 μm.

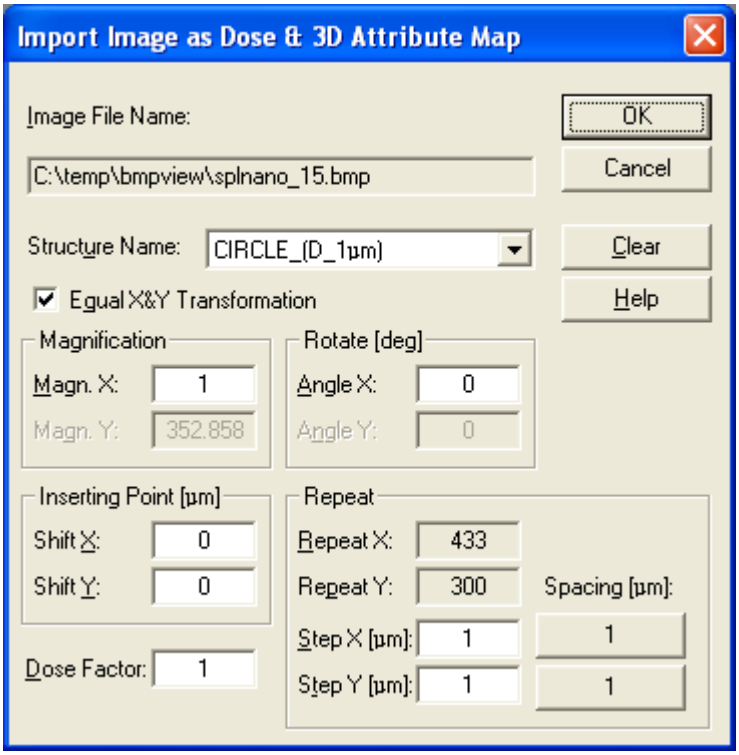

Рис. 9 Создание элемента Dose map на основе файла изображения splnano_15.bmp и структуры CIRCLE_(D_1μm).

Для показа элементов вставляемой структуры в первом уровне иерархии нажмите клавишу **1**. Для показа доз нажмите комбинацию клавиш **Alt+D**.

Результирующая структура после вставки Dose map элемента, на первом уровне иерархии в режиме показа дозы изображена на Рис. 10.

Элемент **Dose map** имеет те же атрибуты, что и Structure reference и, дополнительно, хранит путь к файлу связанного (присоединенного) изображения.

Для того чтобы изменить атрибуты Dose map – селектируйте только данный элемент и используйте команду меню **Edit->Modification...**.

Элемент Dose map изображается практически таким же образом, как и массив вставок структур (Array of Structure references). Дополнительно, по центру Dose map, ниже имени вставляемой структуры, также красным цветом, но меньшим шрифтом дописывается слово DoseMap и путь к присоединенному файлу изображения.

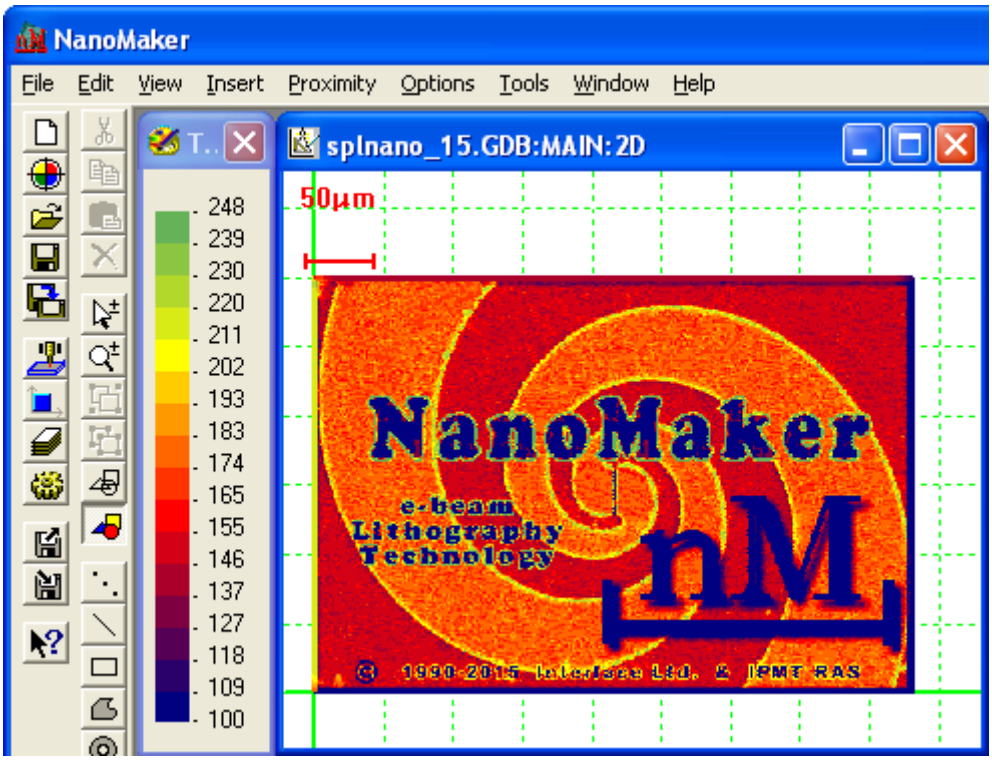

*Рис. 10 Результирующая структура после вставки **Dose map** элемента, на первом уровне иерархии в режиме показа дозы*

Reference map

Для проектирования и изготовления радужных голограмм был разработан специальный элемент, который представляет собою матрицу вставок именованных структур, которая организуется на основе информации хранимой в связанном изображении. Этот элемент и есть Reference map.

Связанное изображение хранится в отдельном файле BMP или TIFF формата и имеет глубину 8 бит/пиксель. Размер изображения (это количество пикселей по оси X и по оси Y) определяет размер матрицы вставок (и самой голограммы). Уровень серого каждого из пикселей изображения (это число от 0 до 255) является ключом для подстановки соответствующей структуры в каждом из узлов матрицы. Это становится возможным, потому что в Reference map все ссылочные структуры именуются в соответствии с определенным правилом. Их имена состоят из необязательного префикса и номера. Префикс является одинаковым для всех структур и может содержать произвольное количество символов латинской клавиатуры. Номер состоит из трех цифр, от 000 до 255. Например, если в качестве префикса выбрана строка "Toy-", тогда имена ссылочных структур в файле будут выглядеть следующим образом: "Toy-000", "Toy-021", "Toy-205" и так далее. Таким образом, каждая Reference map может ссылаться на 256 различных именованных структур.

Дизайн реальной голограммы может содержать десятки Reference map элементов для создания различных цветовых, динамических и других эффектов.

Создать элемент Reference map можно одним из двух способов:

- импортировать дизайн радужной голограммы, подготовленный программой "RainBow", командой **File->Import->**(по шаблону **Elements Files (*.ELM)**;
- воспользоваться командой **Insert->Structure with Reference Map...** и вставить в данную структуру матрицу вставок структур из данного файла. Т.е. вставляемые структуры уже должны существовать в файле на момент создания Reference map. Так же необходимо придерживаться со-

глашения о наименовании структур. Если необходимые для вставки структуры отсутствуют в файле, Reference map окажется пустой.

Чтобы проверить результат создания элемента, откройте для показа первый уровень иерархии, нажав на клавишу **1**.

Элемент Reference map изображается практически таким же образом, как и массив вставок структур (Array of Structure references) – голубой прямоугольник ограничивает пространство вставляемых структур; по центру надпись красным цветом состоящая из имени вставляемых структур (префикс за которым следует набор символов <xxx> символизирующий изменяющийся номер от 000 до 255), а затем, в квадратных скобках добавляются количества повторов в горизонтальном и вертикальном направлениях. Дополнительно, по центру Reference map, ниже имени вставляемых структур, также красным цветом, но меньшим шрифтом дописывается слово RefMap и далее путь к присоединенному файлу изображения.

Для показа элементов вставляемых структуры в первом уровне иерархии нажмите клавишу **1**. Для показа доз нажмите комбинацию клавиш **Alt+D**.

Элемент Reference map имеет те же атрибуты, что и Structure reference и, дополнительно, хранит путь к присоединенному файлу изображения и строку префикса. Для того чтобы изменить атрибуты Reference map **–** селектируйте только один элемент и используйте команду меню **Edit->Modification...**.

Преобразования элементов

В зависимости от стоящих задач редактирования структуры и от типа редактируемого элемента существует несколько способов их преобразования.

1. Изменение атрибутов

Для того чтобы изменить дозу, слой (и 3D атрибут, в случае 3D структуры) элемента или группы элементов необходимо его(их) селектировать, и затем открыть диалог **Change Attribute**s командой меню **Edit->Change Attributes...** или нажатием горячей клавиши **B**.

Поскольку диалог позволяет производить изменение нескольких атрибутов одновременно, обратите внимание, чтобы селекторы всех операций изначально находились в состоянии **NONE** (см. Рис. 11).

Если необходимо изменить дозу элемента(ов) - установите селектор операций с дозой в состояние **SET** и введите новое значение дозы в поле **Dose [%]**.

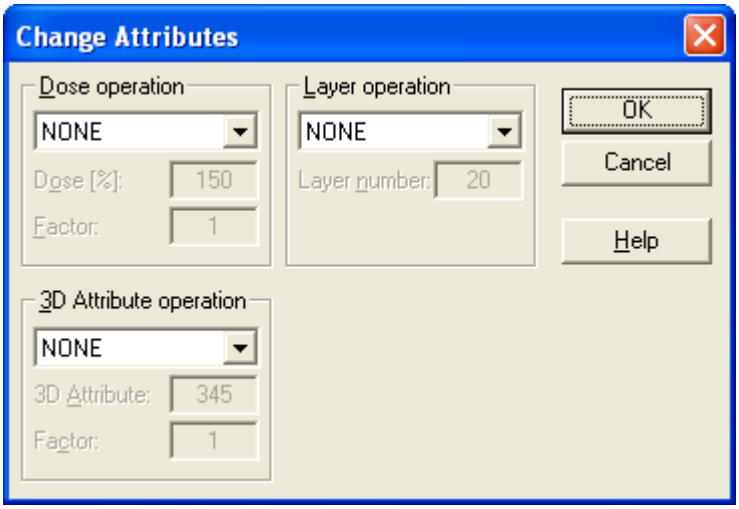

*Рис. 11 Изменение атрибутов элементов с помощью диалога **Change Attributes***

Если хотите уменьшить/увеличить дозу элемента(ов) в произвольное количество раз -установите селектор операций с дозой в состояние **SCALE** и введите коэффициент в поле **Factor**.

Если хотите изменить номер слоя элемента(ов) - установите селектор операций со слоями в состояние **SET** и введите новое значение слоя в поле **Layer Number**.

Если хотите изменить 3D атрибут элемента(ов) - установите селектор операций с 3D атрибутом в состояние **SET** и введите новое значение 3D атрибута в поле **3D Attribute**.

Если хотите уменьшить/увеличить величину 3D атрибута элемента(ов) в произвольное количество раз -установите селектор операций с 3D атрибутом в состояние **SCALE** и введите коэффициент в поле **Factor**.

Нажмите кнопку **OK** для выполнения операции изменения атрибута(ов).

Для изменения дополнительных атрибутов небазовых элементов (Time&Date, Comments, Structure reference, Dose map и Reference map) необходимо селектировать только один из этих элементов и затем открыть диалог модификации командой меню **Edit->Modification...** или нажатием клавиши **M**. Набор атрибутов доступных к изменению и содержание диалога зависит от типа выбранного элемента:

- для Time&Date и Comments элементов доступна для коррекции только строка представления информации.
- для Structure reference, Dose map и Reference map доступны к преобразованию параметры матрицы трансформации, точка вставки, коэффициент изменения дозы, а также ссылочная(ые) структура(ы)
- для Dose map и Reference map, кроме того, можно изменить связанное изображение

2. Изменение геометрии

Деформация (Skew)

Для изменения положения вершин базовых элементов (а также Time&Date и Comments), сначала селектируйте только один из этих элементов, а затем выберите команду **Edit->Transform->Skew** или используйте комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+S**.

Маленькие коричневые прямоугольники отмечают активные области контрольных точек в вершинах элемента, которые используются в процедуре преобразования. Для изменения положения вершины, захватите ее контрольную точку, используя левую клавишу мыши, и перетащите в нужное место. Для точного позиционирования контрольной точки используйте совместно мышь и клавиатуру. При нажатой и удерживаемой левой кнопке мыши используйте клавиши-стрелки, для перемещения контрольной точки на один шаг курсора. Используйте комбинацию с клавишей **Shift** для прыжка курсора точно в узел координатной сетки, клавиши **-** и **+** для изменения шага курсора, клавиши **/** и ***** для изменения масштаба.

В ходе процедуры контрольные точки (вершины) могут быть добавлены и/или удалены, чтобы сформировать нужную конфигурацию элемента.

Чтобы вставить новую контрольную точку щелкните правой кнопкой мыши по одной из существующих контрольных точек, а затем выберите команду **Add Vertex** из всплывающего меню. Новая контрольная точка будет вставлена посредине отрезка соединяющего выбранную точку и соседнюю, в направлении против часовой стрелки.

Чтобы удалить существующую контрольную точку щелкните правой кнопкой мыши по ней и выберите команду **Delete Vertex** из всплывающего меню.

Чтобы завершить процедуру преобразования дважды щелкните левой кнопкой мыши или нажмите клавишу **Enter**. Для отмены процедуры нажмите клавишу **ESC**.

Численное Преобразование (Numeric…)

Преобразование посредством ввода числовых значений параметров выполняется для произвольного количества выделенных элементов. С помощью данной процедуры элементы могут быть размножены многократно с заданным шагом в горизонтальном и вертикальном направлениях, сдвинуты, увеличены или уменьшены и повернуты на произвольный угол относительно заданной точки. Кроме того, при размножении элементов можно задать также и приращение дозы новых элементов одним из двух способов: увеличением на заданную величину или последовательным умножением дозы на заданный коэффициент.

Чтобы выполнить преобразование, селектируйте элементы, а затем выбором команды **Edit->Transform->Numeric…** или нажатием комбинации клавиш **Ctrl+Shift+N** откройте диалог **Numeric Transformation** (см. Рис 12).

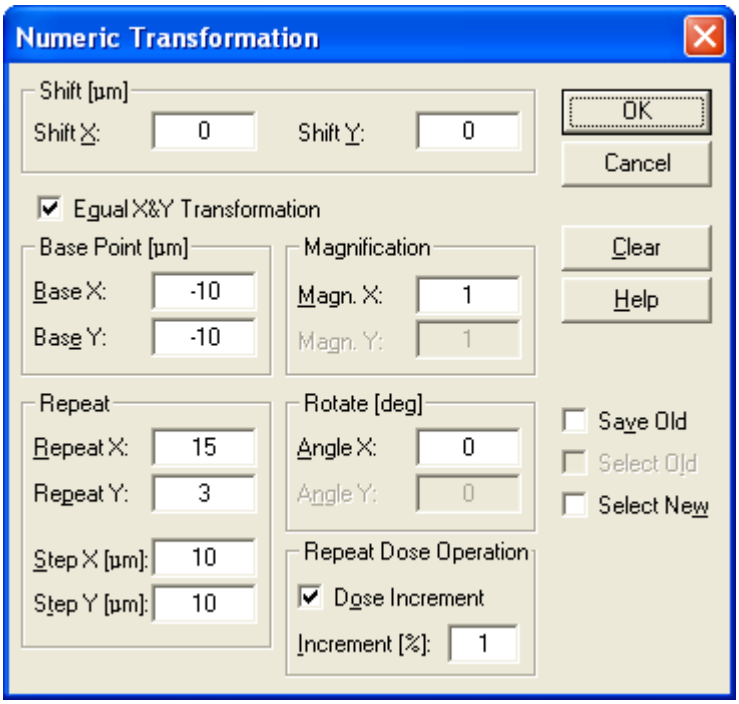

*Рис. 12. Преобразование элементов с помощью диалога **Numeric Transformation***

Нажмите кнопку **Clear** для того чтобы установить параметры преобразования по умолчанию.

Для того чтобы сдвинуть элемент(ты) задайте величину сдвига в полях **Shift X** и **Shift Y**. в микронах

Определите опорную точку, относительно которой будет производиться разворот и масштабирование в полях **Base Point**.

Задайте, если необходимо, углы поворота в полях **Rotate**, в градусах, коэффициенты масштабирования в полях **Magnification**, количество повторов и шаги в полях **Repeat**, коэффициент изменения или величину приращения дозы элементов в полях группы **Repeat Dose Operation**.

Отметьте галочкой чек-бокс **Save Old** для того чтобы в дополнение к преобразованным элементам сохранить в структуре и исходные элементы.

Отметьте галочкой **Select Old** для того чтобы оставить селектированными исходные элементы после завершения процедуры преобразования.

Отметьте чек-бокс **Select New** для того чтобы селектировать переобразованные элементы по завершении процедуры преобразования.

Нажмите клавишу **OK** для того чтобы закрыть диалог и выполнить преобразование.

Move&Rotate

Чтобы передвинуть и/или повернуть элемент или группу элементов на произвольное расстояние или угол селектируйте элемент(ы) и выберите команду меню **Edit->Transform->Move&Rotate** или используйте комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+M**.

Сразу после этого включается режим трансформации: указатель мыши захватывается в окне, появляется специальный курсор, в правом верхнем углу открывается информационная панель и поверх изменяемых элементов штриховыми линиями рисуются их образы. Геометрический центр контуров (центр описанного прямоугольника) отмечается штриховым перекрестьем. При нахождении указателя мыши над образом элемента(ов), внутри воображаемой прямоугольной области, описывающей его вершины, курсор имеет форму указателя с перекрестьем . Если же указатель мыши находится вне воображаемой прямоугольной области, курсор имеет форму указателя с незамкнутой окружностью , символизирующей операцию поворота.

Для того чтобы передвинуть контуры в нужное место структуры, поместите курсор внутрь воображаемой прямоугольной области, захватите образ нажатием на левую кнопку мыши и, удерживая ее в таком состоянии, переместите в нужное место.

Если необходимо развернуть трансформируемый(е) элемент(ы), поместите курсор вне воображаемой прямоугольной области, захватите образ нажатием на левую кнопку мыши и, удерживая ее в таком состоянии, перемещайте курсор по дуге большой окружности, описывающей образ, до тех пор, пока контур(ы) не примут желаемое положение.

Если до нажатия на левую кнопку мыши указатель находится вблизи геометрического центра образа на расстоянии меньшем половины длины мерного отрезка (шага зеленой сетки), то при нажатии на нее (кнопку мыши) указатель прыгнет в положение геометрического центра. И, таким образом, при дальнейшем перемещении образа будет проще контролировать его положение. Для большего удобства и точности используйте клавиши-стрелки для перемещения образа с шагом курсора. Если необходимо, используйте клавиши **-** и **+** для изменения шага курсора, а также клавиши **/** и ***** (или колесо мыши) для изменения масштаба.

Для перемещения элемента(ов) в нужном месте нажмите клавишу Enter или дважды кликните левую кнопку мыши.

Для выхода из режима трансформации нажмите клавишу Esc или дважды кликните правую кнопку мыши.

Rotate 180º

Для того чтобы развернуть элемент на 180 градусов относительно его геометрического центра, селектируйте этот элемент и выберите команду меню **Edit->Transform->Rotate 180º** или используйте комбинацию клавиш

Ctrl+Shift+8. Если селектирована группа элементов, тогда поворот будет выполнен относительно их общего геометрического центра.

Rotate 90º CW

Для того чтобы развернуть элемент или группу элементов на 90 градусов по часовой стрелке относительно геометрического центра селектированных объектов выберите команду меню **Edit->Transform->Rotate 90º CW** или воспользуйтесь комбинацией клавиш **Ctrl+Shift+9**.

Rotate 90º CCW

Для того чтобы развернуть элемент или группу элементов на 90 градусов против часовой стрелки относительно геометрического центра селектированных объектов выберите команду меню **Edit->Transform->Rotate 90º CCW** или воспользуйтесь комбинацией клавиш **Ctrl+Shift+7**.

Flip Horizontal

Для того чтобы перевернуть элемент или группу селектированных элементов относительно воображаемой вертикальной оси проходящей через геометрический центр селектированного(ых) объекта(ов) выберите команду меню **Edit->Transform->Flip Horizontal** или воспользуйтесь комбинацией клавиш **Ctrl+Shift+H**.

Flip Vertical

Для того чтобы перевернуть элемент или группу селектированных элементов относительно воображаемой горизонтальной оси проходящей через геометрический центр селектированного(ых) объекта(ов) выберите команду меню **Edit->Transform->Flip Vertical** или воспользуйтесь комбинацией клавиш **Ctrl+Shift+V**.

3. Преобразование атрибутов и геометрии элементов

Преобразование по формуле

Размеры, пространственное положение и атрибуты селектированных элементов могут быть одновременно изменены посредством ввода соответствующих математических выражений в диалоге **Transform By Formula**.

Для того чтобы осуществить данное преобразование, селектируйте элементы и откройте диалог командой меню **Edit->Transform->By Formula...** или нажатием комбинации клавиш **Ctrl+Shift+F**. Далее, в окно диалога нужно ввести одно или несколько математических выражений (формул), которые описывают операции преобразования атрибутов и/или геометрических параметров всех селектированных элементов в соответствии с определенными правилами. Правила эти следующие:

- Все выражения в основном являются операциями присвоения переменной слева от знака равенства результата вычислений выполняемых в правой части выражения. Например, выражения могут выглядеть как:

  coef=100; d=coef*log(d);

- В первом выражении объявляется переменная *coef*, которой присваивается число 100. Во втором выражении вычисляется произведение переменной coef на десятичный логарифм от переменной *d* и результат затем присваивается вновь переменной *d*. Как будет сказано ниже, переменная *d* зарезервирована для обозначения дозы элемента. Таким образом, в результате преобразования с использованием приведенных выражений, доза каждого из элементов будет переопределена в соответствии с выражением *d=100*log(d)*.

- В конце выражения ставится точка с запятой.
- Выражения можно писать в строчку оставляя между ними пробелы.
- Для улучшения читабельности можно вставлять пробелы в любом месте выражения.
- Математические выражения не чувствительны к регистру символов. Поэтому, выражения, приведенные в примере ниже эквивалентны выражениям из первого примера:

  *Coef = 100; d = Coef * Log(D);*
- Аргументы математических функций должны помещаться в круглые скобки, как это сделано в примере выше. Список доступных математических функций обширен и приводится в Help.
- В выражениях применяются следующие математические операторы:

  + - сложение или знак плюс;

  - - вычитание или знак минус;

  * - умножение;

  / - деление;

  ^ или **** -** возведение в степень.
- Выражения могут содержать логические операции и включать следующие логические операторы:

  > - больше

  >= - больше или равно

  < - меньше

  <= - меньше или равно

  <> - не равно

  && - и

  || - или

  TRUE - результат логической операции соответствует 1

  FALSE - результат логической операции соответствует 0
- Следующие символы недопустимы в выражениях: **~ ` % # @ & $ { } [ ] " ' ? | \ !**
- Появление любого из этих символов в выражении приведет к выходу из преобразования с соответствующим предупреждением;
- Предопределенной переменной является круговая константа **Pi** = 3.14159...
- Следующие переменные зарезервированы в выражениях:
  - **D** для дозы, **A** для 3D атрибута, **L** – для слоя,
  - **Zx** – фактор растяжения (или сжатия) элемента вдоль оси X относительно геометрического центра. Центр вычисляется по формуле: (**Minx** + **Maxx**)/2.
  - **Zy** – фактор растяжения (или сжатия) элемента вдоль оси Y относительно геометрического центра. Центр вычисляется по формуле: (**Miny** + **Maxy**)/2.

- **Rx** – угол поворота элемента относительно оси X вокруг геометрического центра (в градусах). Центр вычисляется по формуле: (**Minx** + **Maxx**)/2.
- **Ry** - угол поворота элемента относительно оси Y вокруг геометрического центра (в градусах). Центр вычисляется по формуле: (**Miny** + **Maxy**)/2.
- **Sx** и **Sy** – для сдвига элемента вдоль оси X и оси Y, соответственно, (в um)
- **Minx** и **Maxx** – граничные координаты элемента вдоль оси X (в um), которые могут быть использованы при трансформации в качестве исходных данных.
- **Miny** и **Maxy** – граничные координаты элемента вдоль оси Y (в um), которые могут быть использованы при трансформации в качестве исходных данных.

Введенные выражения, для удобства повторного использования, можно сохранить в текстовом файле. Для этого нажмите кнопку **Save FRM...** и в открывшемся диалоге **Save Formula File** задайте имя файла и сохраните. Текстовый файл с формулами имеет расширение *.FRM. Чтобы загрузить ранее созданные выражения нажмите кнопку **Load FRM...** и выберите нужный файл.

Нажмите клавишу **OK** для того чтобы закрыть диалог и выполнить преобразование.

Разгруппировка (Ungroup)

Если нужно преобразовать вставку структур(ы) (Structure reference, Dose map, Reference map) или Time&Date или Comments в набор составляющих их элементов, селектируйте данные вставки/Time&Date/Comments и выберите команду меню **Edit->Ungroup** (или нажмите клавишу **U**). В случае большого количества элементов процедура может занять некоторое время. В этом случае, в статусной строке появится прогресс-бар, который будет отображать процент выполнения. Необходимо отметить, что данная процедура приведет к увеличению размера файла данных.

Проектирование с использованием фонового изображения

Предположим, что на поверхности вашей подложки уже сформирована некоторая структура или существует некоторый рельеф, и вы хотите спроектировать новые элементы, которые бы вписывались в существующий дизайн. В таком случае вам может помочь проектирование с использованием фотографии в качестве фона (background). Чтобы начать проектирование, нужно получить изображение интересующего участка поверхности и сохранить его в TIFF формате (8 бит/пиксель). Если снимать фотографию с помощью NanoMaker'a, тогда можно существенно упростить задачу калибровки полученного изображения.

Снимайте изображение в калиброванном поле (Scan field) чтобы сохраняемые в тэгах TIFF файла размеры соответствовали реальным. Для съемки изображения удобно использовать режим "Микроскоп" чтобы сориентировать необходимым образом фотографируемый объект и задать положение центра, которое будет точкой привязки изображения к началу координат в окне редактора.

Вы можете также использовать фотографию, полученную с любого другого устройства, но перед использованием ее в редакторе в качестве бэкграунда:

преобразуйте ее в TIFF формат (8 бит/пиксель);

используя диалог Image Processing (**Video->Microscope-> Processing...**) задайте реальный масштаб, используя знания о действительных размерах объектов на изображении используя операцию **Rescale**, и определите центр изображения с помощью кнопки **Set Origin**;

сохраните преобразованное изображение с помощью кнопки **Save Image**.

Начните проектирование с того, что откройте новый GDB файл (**File->New Database**) и затем загрузите нужное изображение (**View->Redraw->Background**). Теперь можно начать проектирование, используя фоновое изображение в качестве основы для вновь создаваемых элементов (см. Рис. 13).

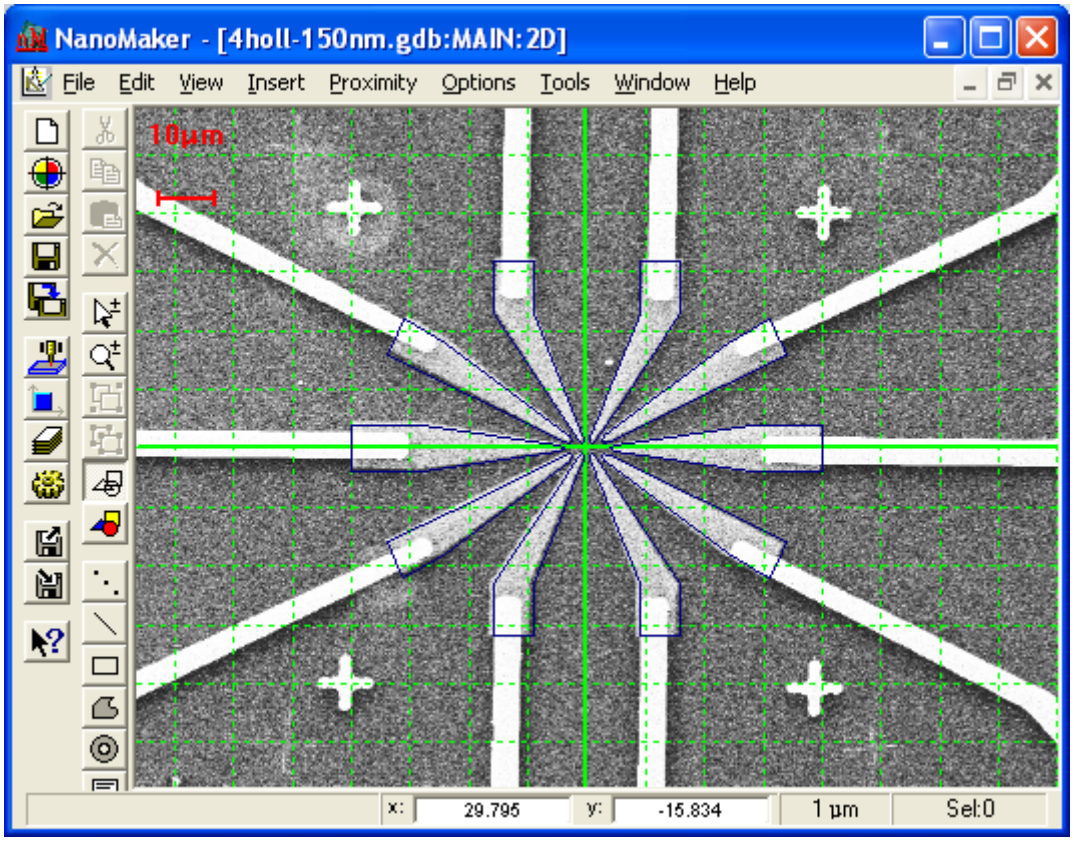

Рис. 13. Проектирование с использованием фонового изображения

Для удобства проектирования яркость фонового изображения можно понизить. Для этого откройте закладку **Image** в диалоге **View Options** (**Options->View->Image** tab) и подберите в группе **Tone** в одном из режимов **Auto** или **Manual** границу обрезания наиболее ярких пикселей. После закрытия диалога **View Options**, в окне редактора нажмите комбинацию клавиш **Alt+C** чтобы перерисовать окно.

Сохранение

По завершению работ результаты проектирования структуры необходимо сохранить в GDB файл. Если проектировалась новая структура, или производились минимальные изменения в существующей структуре, тогда выберите команду меню **File->Save** для сохранения данных в уже существующем файле**.** Если изменения были существенными, с большим количеством удаленных и вновь созданных элементов, тогда рекомендуется воспользоваться командой меню **File->Save As** и сохранить дизайн в новом GDB файле, что в некоторых случаях позволит существенно минимизировать размер файла.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТОГРАФИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Создание структуры дозового клина

В данном разделе описывается пример проектирования структуры дозового клина, которая может быть использована для определения контраста резиста (зависимости скорости проявления от дозы экспозиции) и его чувствительности. Описание метода определения контраста приведено в работе, опубликованной на сайте [1].

При создании данной структуры используются приемы редактирования, включающие трансформацию элементов посредством формул и задания условий преобразования в численном виде, которые выбираются командами меню **Edit->Transform->By Formula** и **Edit->Transform->Numeric**, соответственно.

Начните проектирование с создания нового GDB файла, выбрав команду меню **File->New Database**. При задании параметров в далоге **New Database File** не задавайте сетку разбиения и установите разрешение по умолчанию 1 нм (см. Рис. 1). Нажмите кнопку **OK**, после чего будет создан новый файл и откроется окно редактора для структуры MAIN.

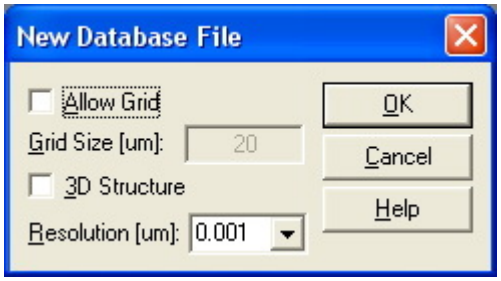

*Рис. 1 Задание параметров нового GDB файла в дилоге **New Database File***

Откройте диалог задания атрибутов элементов **Attributes** командой меню **Insert->Attributes...** и задайте дозу (**Dose**) равной 100% (см. Рис. 2). Закройте диалог **Attributes**.

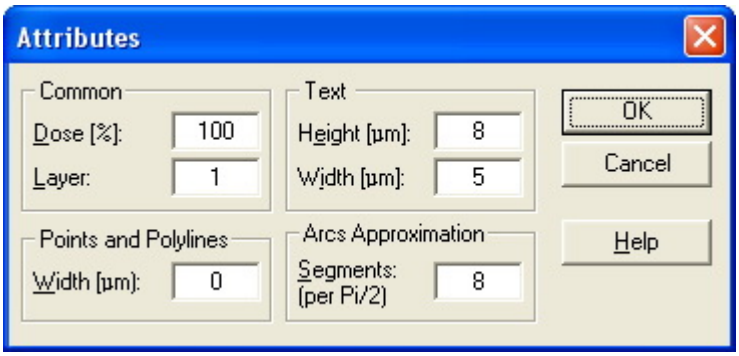

*Рис. 2 Установка атрибутов вновь создаваемых элементов в диалоге **Attributes***

В структуре MAIN создайте прямоугольный элемент с координатами левой-нижней вершины - 0, 0 µm и правой-верхней - 2, 50 µm, соответственно (см. Рис. 3).

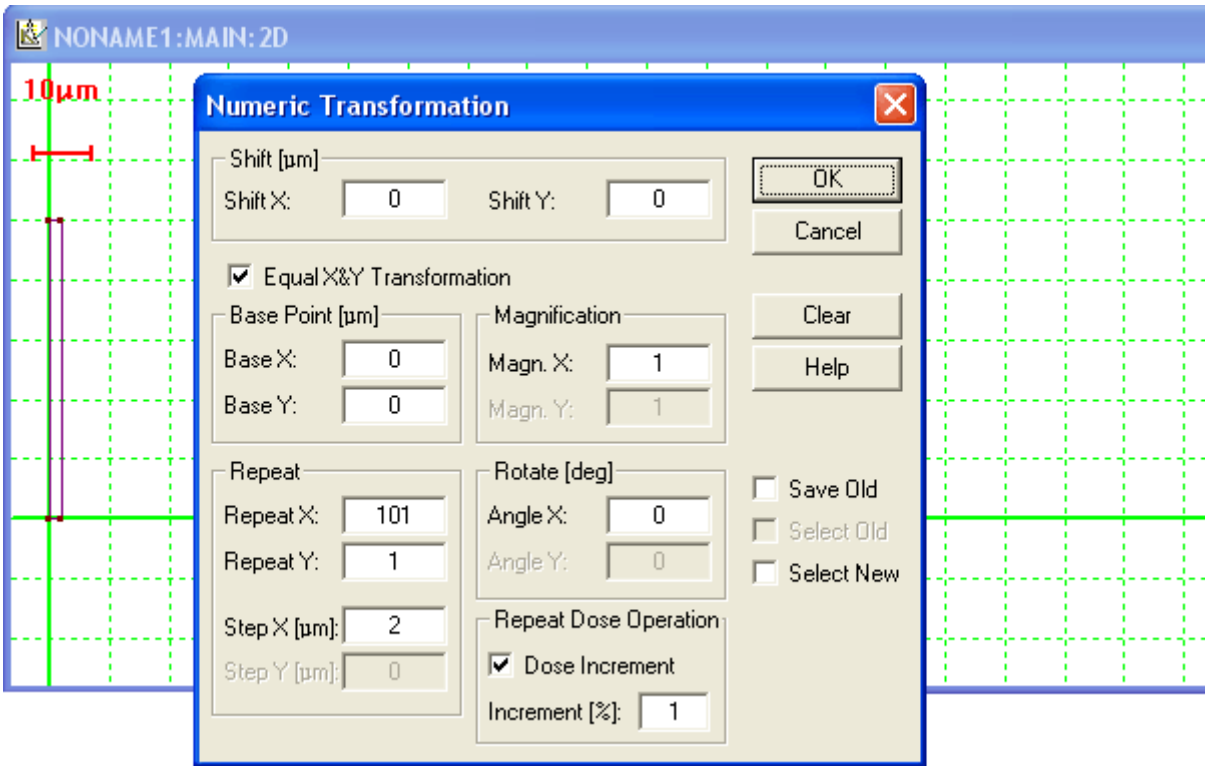

Рис. 3 Задание параметров численного преобразования в диалоге ***Numeric Transformation***

С помощью численного преобразования размножьте прямоугольник 101 раз по оси X с приращением дозы каждого последующего прямоугольника на 1%. Для этого:

- селектируйте элемент командой **Alt+A**;
- откройте диалог численного преобразования **Numeric Transformation**, выбрав команду меню **Edit->Transform->Numeric...** (или комбинацией клавиш Ctrl+Shif+N);
- в диалоге задайте число повторов вдоль оси X (**Repeat X**) равным 101 с шагом (**Step X**) 2 µm. Задайте приращение дозы (**Dose Increment**) равным 1% (см. Fig. 3);
- нажмите клавишу **OK**, чтобы закрыть диалог и выполнить преобразование.

В результате преобразования будет создан массив из 101 примыкающих друг к другу прямоугольных элементов, в которых доза d_0 (атрибут Dose) возрастает линейно слева направо от 100% в крайнем левом до 200% в крайнем правом.

Для реализации метода определения контраста [1] надо задать такое распределение дозы экспонирования в клине, чтобы после проявления толщина резиста линейно уменьшалась слева направо от одного его края до другого. Такое нелинейное распределение дозы можно задать с помощью преобразования по формуле. Поскольку скорость проявления позитивного резиста v пропорциональна d^{γ}, где γ – его контраст (согласно формуле 1 в [1]), тогда преобразование дозы элементов по формуле:

$$d = 100 * (\frac{d_0}{100} - 1)^{\frac{1}{\gamma}}$$

создаст распределение дозы в клине от 0 до 100%. Здесь d_0 - исходная доза элемента.

И, если, реальный контраст резиста будет совпадать с используемой величиной γ, тогда после проявления получится идеальный клин.

Выполните преобразование доз элементов по формуле, для этого:

- селектируйте все элементы командой **Alt+A**;
- откройте диалог **Transform by Formula**, выбрав команду меню **Edit->Transform->By Formula...** (или комбинацией клавиш **Ctrl+Shif+F**);

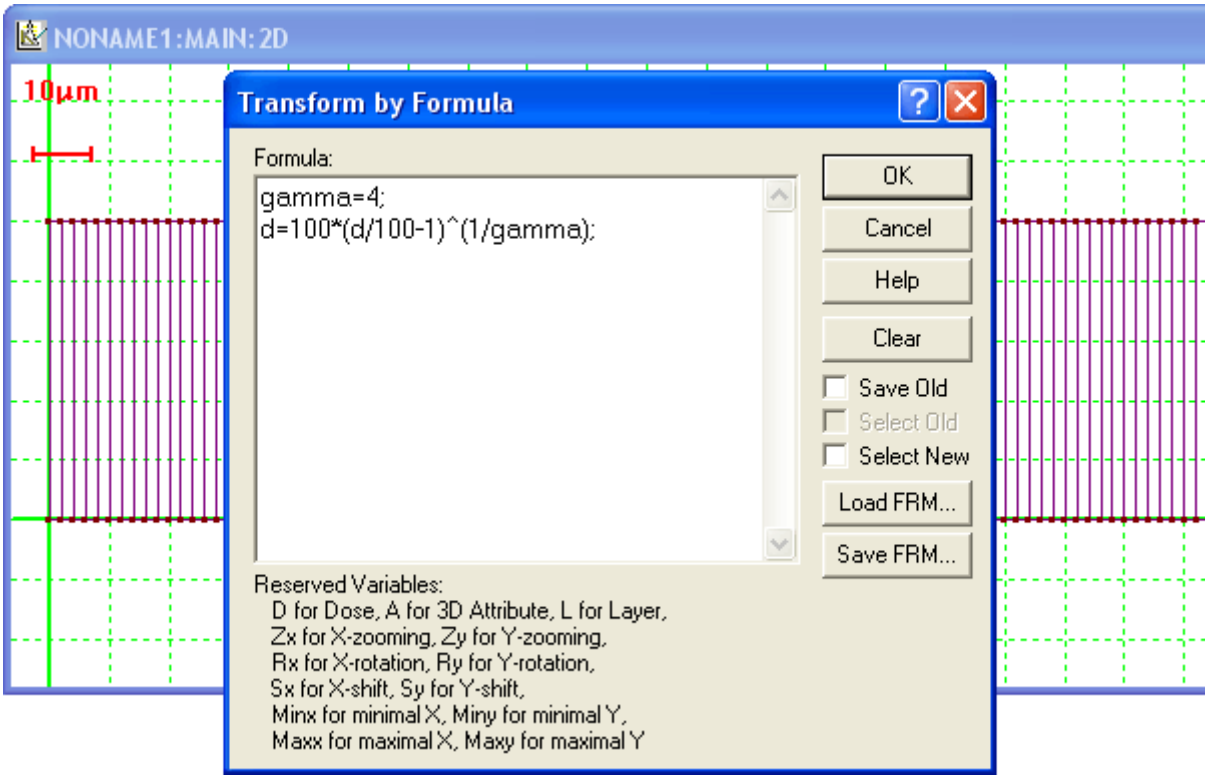

*Рис. 4. Ввод формулы преобразования в диалоге **Transform by Formula***

- в диалоге введите следующую формулу: gamma=4;d=100*(d/100-1)^(1/gamma), где предполагаемая величина контраста gamma равняется 4 (см. Рис. 4);
- нажмите клавишу **OK**, чтобы закрыть диалог и выполнить преобразование.

Дизайн структуры дозового клина в режиме показа дозы приведен на Рис. 5.

Не забудьте сохранить вновь созданную структуру.

В упомянутой выше работе [1], для определения контраста были спроектированы семь дозовых клиньев для семи значений предполагаемого контраста. После экспонирования и проявления (Рис. 6) оказалось, что линейный профиль клина достигается для значения контраста, равного 3 (цифра справа). Постоянство расстояния между интерференционнами линиями свидетельствует о линейности профиля клина.

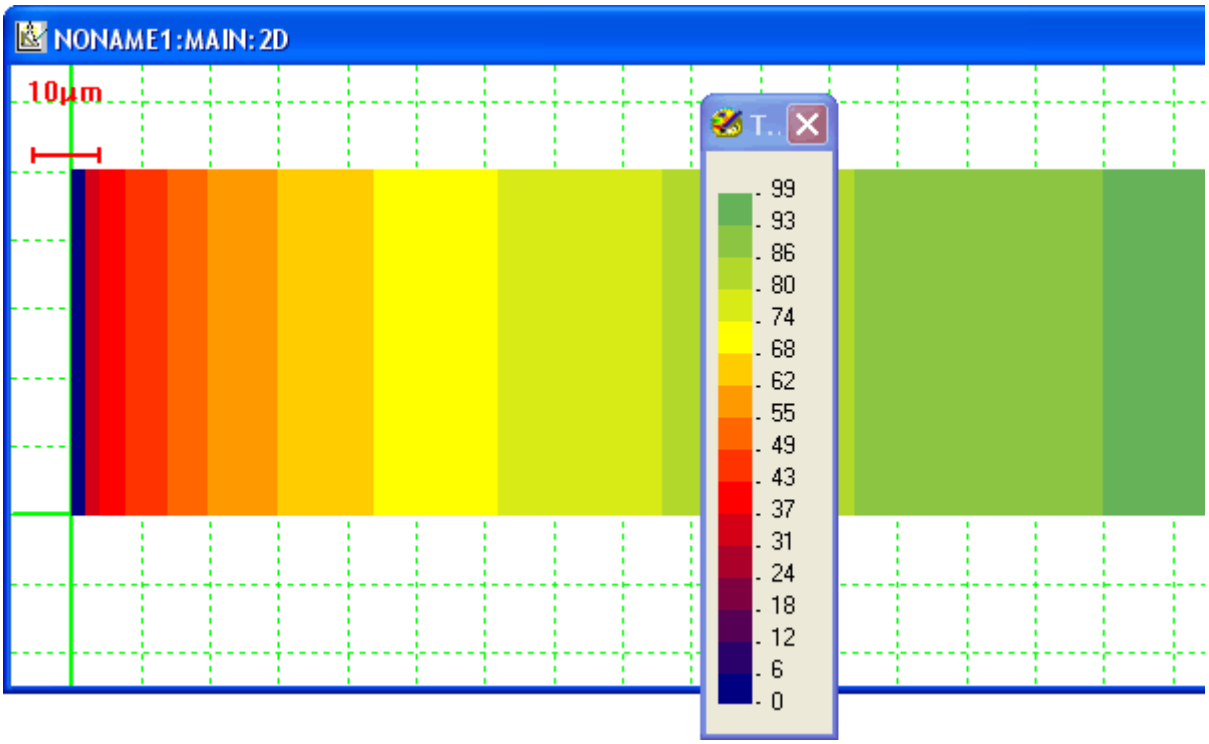

Рис. 5. Дизайн структуры дозового клина с распределением дозы, заданным посредством преобразования по формуле

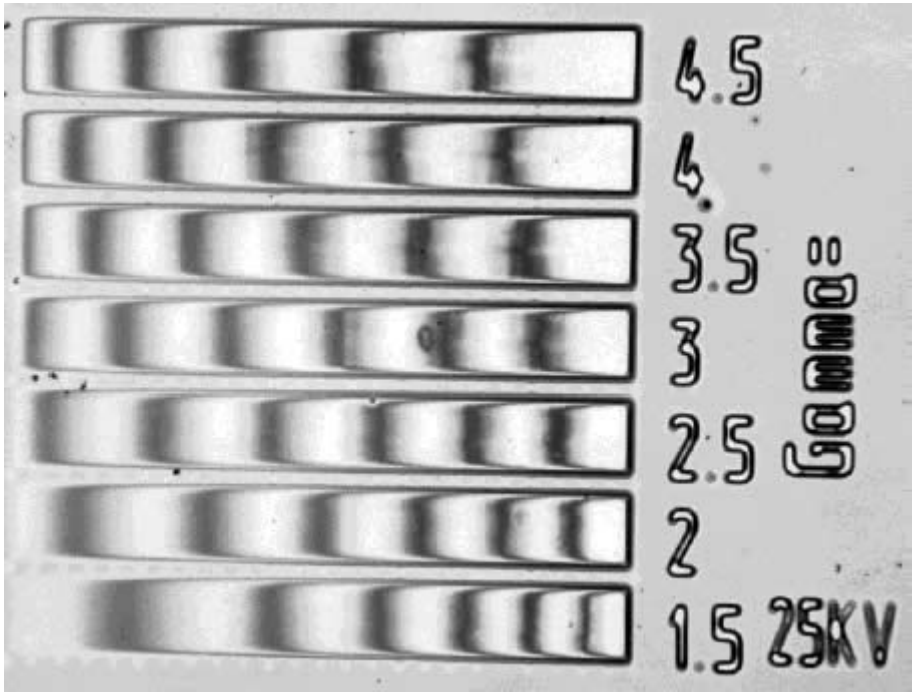

Рис. 6 Результирующая структура для определения контраста резиста. О линейности результирующего профиля свидетельствует равное расстояние между интерференционными полосами. Ближе всего к этому средний клин, соответствующий контрасту 3.

[1] www.nanomaker.com/nav.php?go=paper8