

电子束曝光数据格式转换中的图形离散算法研究

魏淑华¹, 韩 立²

(1 北方工业大学 信息工程学院微电子中心, 北京 100041; 2 中国科学院 电工研究所, 北京 100190)

摘 要: 开展了圆环弧类图形离散算法的研究, 提出了一种以图形的曲率半径作为离散精度依据的离散算法, 既保证了高的离散精度又减小了数据量, 提高了数据传输效率. 该算法为曝光版图中不断出现的圆环弧类图形进行精确曝光提供了保障. 通过图形实例进行验证, 表明此种离散方法合理, 离散结果适于电子束曝光要求.

关键词: 电子束曝光; 数据格式转换; 图形离散

中图分类号: TN305.7; TP319

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0201-04

Study on Graphics Discrete Algorithm for Electron Beam Lithography Data Format Conversion

WEI Shu-hua¹, HAN Li²

(1 Microelectronic Center, College of Information Engineering, North China University of Technology, Beijing 100041 China; 2 Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: A discrete algorithm for circle and arc graphics is presented in this paper, which uses graphics curvature as the discrete precision standard. This algorithm not only ensures the high accuracy of discretization, but also it reduces the amount of required data. It provides a guarantee for circle and arc exposure by electron beam lithography. Results from the experiments show that this algorithm is suitable for the electron beam lithography.

Key words: electron beam lithography; data format transformation; graphics discrete algorithm

1 引言

电子束曝光技术是微纳加工技术研究与应用的关键技术. 大规模集成电路的图形数据是由集成电路辅助设计软件^[1]设计而成的, 其输出的图形数据格式是中介格式, 并非电子束曝光系统所能接受的曝光命令. 所以, 在使用电子束曝光系统进行图形加工之前必须首先对中介数据格式进行转换, 使之成为硬件设备可以接受的曝光数据格式^[2-3].

随着新型器件的不断研发及特征尺寸的不断缩小, 对于集成电路版图中圆环弧类图形的曝光精度要求越来越高. 因此, 对该类图形的处理在数据格式转换阶段具有普遍而特殊的意义. 文中考虑将所有图形都转化为符合以下定义的多边形^[4-6]: 所有顶点各不相同; 任何顶点都只属于它所在的边; 除了相

邻边交且交于顶点处之外, 其它任意两条边都不相交. 以此作为数据格式转换中图形分割算法的前提和依据. 因此, 将任意尺寸的圆环弧类图形合理地离散为符合定义的多边形成为进行数据格式转换的前提.

2 离散原理

圆环弧类图形离散的基本方法, 是根据角度将图形进行划分, 以内接正多边形的形式进行逼近. 以圆形为例, 如图 1 所示. 假设 CD 为圆形离散后的内接正多边形的某一条边, 长度为 L , OA 是角 COD 的角平分线, R 表示该圆的半径, H 表示圆形的弓高, 即弧弦差, 弓高 H 与离散角 α 的关系为:

$$R - R \cos \frac{\alpha}{2} = H$$

$$\alpha = 2\arccos(1 - \frac{H}{R}) \quad (1)$$

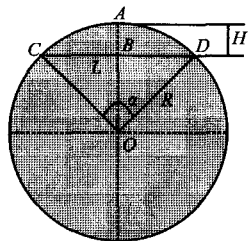


图1 离散方法示意图

圆上各离散点的坐标可以用下式求解:

$$\begin{cases} x_n = x_0 + R\cos n\alpha \\ y_n = y_0 + R\sin n\alpha \end{cases} \quad (2)$$

其中 x_0, y_0 为圆心坐标, n 为所求离散点的次序, 弓高 H 可表示离散精度。

具体的策略可分为三种: 用户设置离散点数, 由此计算离散角度; 默认离散角度, 所有图形按此角度进行离散; 根据弓高, 计算离散角度。前两种策略对于任意尺寸的图形, 其离散角度是相同的, 软件实现比较容易, 但是图形尺寸不同或弯曲程度不同, 其离散精度有很大差异。为保证大尺寸图形有较高的离散精度, 可采用较小的离散角, 但同时造成小尺寸图形被离散的过细。

利用电子束曝光进行版图加工, 对图形进行离散时, 要考虑到离散精度与数据传输效率之间的关系。一方面为了保证曝光后圆环弧类图形边缘光滑, 要求有足够高的离散精度; 另一方面考虑到图形数据传输时间与曝光时间的平衡, 避免图形数据量过大。综合考虑圆环弧类图形离散两方面的要求, 需要根据不同的图形尺寸设置不同的离散角度。因此采用第三种策略, 根据弓高计算离散角度。即确定离散精度, 进而求解离散角度进行离散。采用此种方法最关键的问题是, 如何保证高离散精度下, 尽量减少分割后数据量。

曲线曲率是针对曲线上某个点的切线方向角对弧长的转动率, 通过微分来定义。曲线 $y = f(x)$ 上任一点的曲率计算公式为:

$$K = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} \right| = \left| \frac{\frac{y''}{1+y'^2} dx}{\sqrt{1+y'^2} dx} \right| = \left| \frac{y''}{(1+y'^2)^{\frac{3}{2}}} \right| \quad (3)$$

曲率的倒数即为曲率半径, 用来描述曲线的弯曲程度, 同图形尺寸有直接关系。因此为满足上述两个要求, 将离散精度与图形的曲率半径联系起来, 设置离散精度为曲率半径的 1%, 同时对于尺寸小的

图形, 考虑到所用电子束曝光系统的束斑直径, 将离散精度设置为最小 20nm。

3 各类图形离散的算法设计

以圆形为例, 设计对该类图形进行离散的具体实现算法。对于圆形, 半径即为其曲率半径。以离散一个圆心为 (0,0), 半径为 100nm 的圆为例, 弓高 H 为 $100 \times 1\% = 1\text{nm}$, 小于 20nm, 根据上述说明, 此处取为 20nm。则离散角度 $\alpha = 2\arccos(1 - \frac{H}{R}) = 2\arccos(1 - \frac{20}{100}) = 1.287$ 弧度, 离散点数 $n = \frac{2\pi}{\alpha} \approx 5$ 。从 X 坐标最大值开始离散, 由式 (2) 可计算出各离散点坐标 (100,0), (28.96), (-84.32, 53.76), (-75.22, -65.89), (42.20, -90.66), 如图 2(a) 所示为离散示意图。显然离散点关于 X 或 Y 轴是不对称的, 由于图形分割是采用扫描线的方式, 依据 X 或 Y 方向的坐标值大小依次用水平线或垂直线进行分割, 点的不对称势必造成分割后出现尺寸不均匀, 宽、窄图形交错的现象, 这对于文件传输和曝光都是不利的。

针对这种情况, 采用以象限为单位进行离散, 首先以 X 轴最大点处为起始点, 只对第一象限圆形进行离散, 离散角度设置为 $\alpha/2$, 然后其它三个象限以第一象限为对称求出离散点。这种方法保证了离散的对称性, 且减少了计算量。

计算一个象限离散点数的公式为 $n = \frac{\pi/2}{\alpha/2} = \frac{\pi}{\alpha}$, 其中 π 和 α 数据类型为 double 型, 而离散点数 n 数据类型为 int 型, 计算结果只是取整数部分, 而不是四舍五入。比如 $\alpha = 0.6542$, 则实际 $n = 4.8022$, 而计算机结果 n 取为 4。因此为了保证离散精度, 将离散点取为 $n+1$, 离散角度重新计算为 $\beta = \frac{\pi/2}{n+1}$ 。

依据上述原则对圆心为 (0,0), 半径为 100nm 的圆重新进行离散, 第一象限离散点数为 $n = \frac{\pi}{\alpha} + 1 = 3$, 离散角度 $\beta = \frac{\pi/2}{3} = 0.5236$ 。从 X 坐标最大值开始离散, 第一象限各离散点坐标为 (100,0), (86.60, 50), (50, 86.60), 其他三个象限的离散点通过对称即可求得。图 2(b) 为改进后的离散点示意图, 图 2(c)、(d) 所示分别为对半径 100nm、1 μm 的圆进行离散后分割的结果。

由实验图形可以看出, 这种离散方法离散点对称, 图形分割后尺寸均匀, 且无图形丢失或重叠现

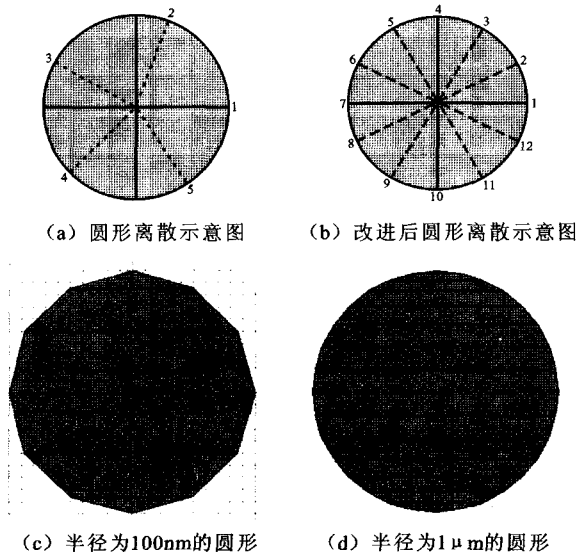


图2 圆形离散后分割的结果

象。

圆环的离散方法同圆形,以象限为单位进行离散,分别离散内环和外环。以怎样的顺序保存各离散点是圆环离散时需重点考虑的问题。由于 CIF 文件中圆环、扇形等图形均是以多边形形式保存的,在这里为了图形分割时数据的一致性,依照 CIF 文件中对圆环解析后的排序规则。通过分析得出, CIF 文件中将圆环解析为一个含有内环和外环的封闭多边形,内外环上各点的排列顺序根据绘制时起始点的不同而不同,但内外环相接处点的排序是一致的。本软件中将圆环的内环按顺时针排列,外环逆时针排列,解析后多边形各点的排序如图 3 所示。保存顺序为 1→2→2→3→4→5→2→2→1→1→6→7→8→1。

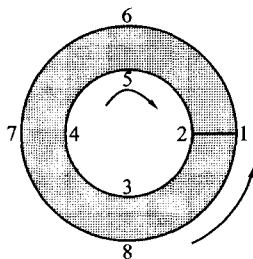


图3 圆环离散后各点保存顺序

扇形的离散也是根据其曲率半径即所对应圆形的半径求出离散角度,然后进行离散。同圆形不同的是,离散扇形时从扇形的起始点开始离散,直到终止点结束,而不是按照分象限处理。

由于椭圆的曲率半径在各个点处不同,而且椭圆的长半轴不一定平行于 X 轴或 Y 轴,因此对椭圆的离散稍微复杂。为保证计算统一性,对椭圆离散时

首先进行坐标系变换,以椭圆的圆心为坐标原点,长半轴为 X 轴作为局部坐标系,椭圆的离散在局部坐标系下进行。同时为尽量满足离散点的对称性,离散时仍按照象限为单元进行。

由于在局部坐标系下进行离散,所以任意椭圆都当作标准椭圆来求解。标准椭圆的数学表达式为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (4)$$

根据式(3)所示的曲率计算公式,可得椭圆各点处曲率半径为:

$$K = \frac{(a^4 - a^2x^2 + b^2x^2)^{\frac{3}{2}}}{a^4b} \quad (5)$$

其中, a 为 X 方向半轴长度, b 为 Y 方向半轴长度。从局部坐标系下椭圆 X 轴正方向最大值处开始离散,计算出离散角和下一个离散点坐标,然后求得该离散点处曲率半径,计算离散角和下一个离散点坐标,依次计算直到将第一象限离散完毕,然后由对称性求出其他三象限离散点,最后通过坐标转换到版图的世界坐标系,分割时以此为基础进行分割。

采用此种离散方法的优势在椭圆离散时尤为明显,由于椭圆各点处的弯曲程度不同,即曲率半径不同,若采用固定的离散角度对其进行离散,则为保证整个椭圆的离散精度,势必造成部分区域分割过细,大大增加了分割后图形数据量。改进后以椭圆各点处曲率半径确定离散角度,既保证了各点处离散精度要求,又减小了数据量,满足了电子束曝光对图形离散分割的要求。图 4 所示为采用不同方法对同一椭圆进行离散并分割后的结果。

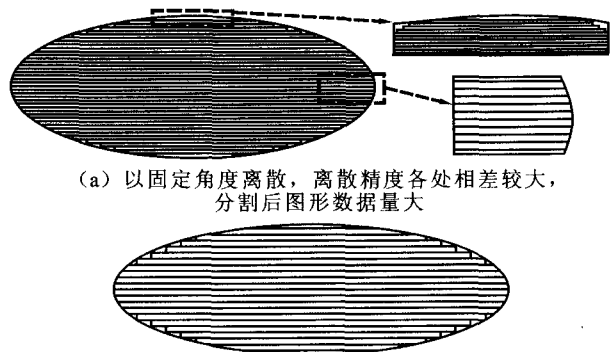


图4 长半轴 16μm,短半轴 8μm 的椭圆

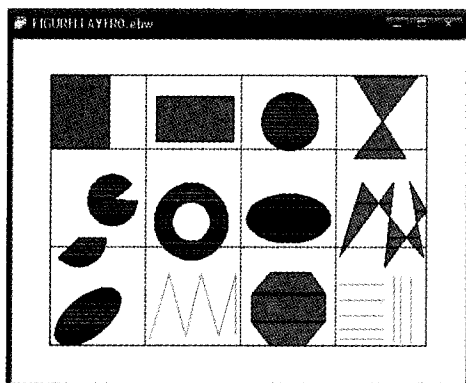
综上,对圆环弧类图形进行离散,总的原则是根据图形的曲率半径来确定离散精度,然后根据离散精度计算离散角度,为了避免出现小尺寸图形分割过细的现象,要求离散精度不小于 20nm。这种方法

可适用于任意曲线图形,可实现不同尺寸图形离散的疏密程度不同,保证曝光效率.

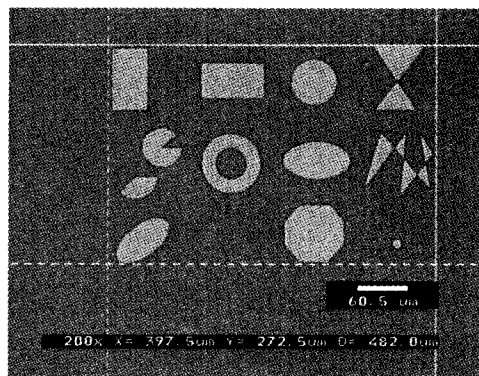
4 实验结果

文中研究的圆环弧类图形离散算法实现于自主研制开发的电子束曝光软件系统中.利用此软件系

统在电工所研制的基于 SEM 的电子束曝光系统进行曝光实验.曝光图形包括圆、圆环、椭圆、扇形等圆环弧类图形.图 5(a)为利用软件系统设计的实验曝光版图分割后结果,(b)为曝光结果.可看出所有图形曝光正常,特别是圆环弧类图形曝光后边缘光滑无图形缺失情况.



(a) 图形分割结果



(b) 曝光结果

图 5 图形分割及曝光实例

5 结束语

文中提出了一种精确、通用的圆环弧类图形离散算法,以图形的曲率半径作为离散精度依据,既保证了高的离散精度又减小了数据量,提高了数据传输效率,该算法为曝光版图中不断出现的圆环弧类图形进行精确曝光提供了保障.

参考文献:

- [1] 顾文琪. 电子束曝光微纳加工技术[M]. 北京:北京工业大学出版社,2004.
- [2] 吴石增,陈军. 电子束曝光机特殊图形辅助发生器[J]. 微电子学与计算机, 1995,12(4):14-17.

- [3] 崔铮. 微纳加工技术及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [4] 孙家广,杨长贵. 计算机图形学[M]. 3 版. 北京:清华大学出版社,1998.
- [5] Feito F, Torres J C, Urena A. Orientation, simplicity and inclusion test for planar polygons [J]. Computer & Graphics, 1995, 14(4):595-600.
- [6] 王志强,肖立谨,洪嘉振. 多边形的简单性、方向及内外点的判别算法[J]. 计算机学报,1998,21(2):183-187.

作者简介:

魏淑华 女,(1981-),博士.研究方向为微纳加工技术.
韩立男,(1970-),博士生导师.研究方向为微纳加工技术.

(上接第 200 页)

- [7] 于江德,肖新峰,樊孝忠. 基于隐马尔可夫模型的中文文本事件信息抽取[J]. 微电子学与计算机,2007,24(10):92-98.

作者简介:

黄鑫 男,(1984-),硕士.研究方向为中文信息处理.

朱巧明 教授,博士生导师.研究方向为中文信息处理、网络语义处理、嵌入式等.

钱龙华 博士,副教授.研究方向为中文信息处理.

刘梅梅 硕士研究生.研究方向为语义网络处理.