

## IC 缺陷轮廓的分形插值模型<sup>1</sup>

姜晓鸿 赵天绪 郝跃 徐国华

(西安电子科技大学微电子所 西安 710071)

**摘要** 现用于集成电路(IC)成品率预报及故障分析的缺陷模型均是用圆或正方形来代替真实缺陷的复杂轮廓进行近似建模的,从而在模型中引入了很大的误差。本文利用分形插值的思想直接对真实缺陷的轮廓进行模拟,从而提出了一种新的缺陷轮廓表征模型。实验结果表明:与传统的最大圆模型、最小圆模型及椭圆模型相比,新模型的建模精度有了很大的提高。

**关键词** IC 缺陷, 分形插值, IC 故障, IC 成品率, 等效圆形缺陷

**中图分类号** TN43

### 1 引言

为了对集成电路(IC)进行可制造性设计和容错设计,需要对IC的成品率进行预报,成品率预报的精度(尤其是功能成品率的预报精度)直接关系到IC可制造性设计和容错设计的结果,而IC制造中的缺陷所引起的电路失效是导致IC成品率下降的主要因素。所以,为了进行成品率预报,需要描述与电路失效有关的缺陷的空间分布和粒径分布。此外,缺陷出现的频率和缺陷粒径分布对电路故障分析是很重要的<sup>[1]</sup>。有关缺陷的统计数据还用于成品率估计<sup>[2]</sup>、制造工艺的优化<sup>[3]</sup>、测试版图的生成<sup>[4]</sup>及设计规则的确定。实际的缺陷的形貌是多种多样的,而传统的最大圆模型、最小圆模型及文献[5]中提出的椭圆模型均是用圆代替缺陷复杂的真实轮廓而进行建模处理的,这是一种改变对象的结构以适应现有处理方法的权宜之策,虽然经这样的近似处理可大大简化计算,但在缺陷引起故障概率的预测中会引入很大的误差<sup>[6]</sup>,因此,有必要利用新的方法去研究真实缺陷轮廓的建模问题。对于天空中变换多端云彩的轮廓线和犬牙交错的海岸线这类复杂图形的描述问题,用直线段或圆弧进行逼近的传统几何的描述方法应该说与现实是有相当大的差距的。分形理论的出现为我们提供了一个描述不规则几何图形的强有力理论工具,该理论可用来有效地描述自然与工程中遇到的多种多样的复杂图形<sup>[7]</sup>。本文首次将分形插值理论应用于IC制造中真实缺陷轮廓的模拟上,取得了较好的效果。

### 2 现有的真实缺陷轮廓模型

作为真实缺陷轮廓模型,首先引入真实缺陷的方向尺寸、 $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$ 的定义。

**定义 1** (真实缺陷的方向尺寸、 $\theta_{\min}$ 和 $\theta_{\max}$ ): 对于一真实缺陷,将沿与参考方向的夹角为 $\theta$ 的方向上的两条平行线在保证与该缺陷相切的前提下所能达到的最大间距称为该缺陷在此方向上的尺寸,且记该缺陷在此方向上的尺寸为 $d(\theta)$ 。记 $d_{\min}$ 和 $d_{\max}$ 分别为该缺陷在所有方向上尺寸的最小值和最大值,且记 $\theta_{\min}$ 和 $\theta_{\max}$ 分别为对应 $d_{\min}$ 和 $d_{\max}$ 的角度(参看图1)。

<sup>1</sup> 1997-11-18 收到, 1999-03-09 定稿  
863 高科技项目和国家部级项目资助

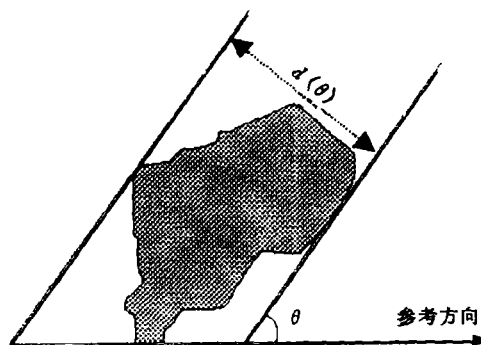


图 1 定义 1 的示意图

由定义 1 易知, 最小圆模型和最大圆模型是分别用直径为  $d_{\min}$  和  $d_{\max}$  的圆形缺陷来近似真实缺陷, 而椭圆模型是首先由  $d_{\min}$  和  $d_{\max}$  所确定的椭圆缺陷来近似真实缺陷, 然后对此椭圆按下式求平均尺寸  $d_{\text{ellip}}^{[5]}$

$$d_{\text{ellip}} = \frac{d_{\min}}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2 \alpha}} \quad (1)$$

式中  $k = \sqrt{1 - [d_{\min}/d_{\max}]^2}$ , 然后该真实缺陷用直径为  $d_{\text{ellip}}$  的圆形缺陷来近似。

### 3 理想情况下真实缺陷轮廓的分形插值模型

在 IC 成品率的预报中, 一真实缺陷在设计好的版图上引起故障的概率直接由该缺陷的位置及该缺陷的轮廓所决定, 而真实缺陷的轮廓是很复杂的, 现有的用规则的圆代替缺陷的真实轮廓进行处理的建模方法势必在真实缺陷轮廓的建模中会引入很大的误差<sup>[6]</sup>。现有的研究表明, IC 制造中真实缺陷的轮廓具有很好的分形特征<sup>[8]</sup>, 且 IC 缺陷轮廓的计盒维数 (Box-counting dimension) 服从韦布 (Weibull) 分布<sup>[9]</sup>, 从而分形维数成为刻划缺陷轮廓的一个有力的特征参数。得到给定维数并且经过给定点的分形曲线的方法是分形插值法。本文根据  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$  及该轮廓的计盒维数  $d_{\text{box}}^{[9]}$  的值, 利用分形插值法对真实缺陷的轮廓进行模拟。若要得到通过给定点  $A$  和  $B$  且计盒维数为  $d_{\text{box}}$  的分形曲线, 可令  $S_i (1 \leq i \leq m)$  是用下式表示成矩阵形式的对线段  $\overline{AB}$  的仿射变换:

$$S_i = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/m & 0 \\ a_i & c_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (i-1)/m \\ b_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

设

$$1/m < |c_i| \leq 1 \quad (3)$$

即  $x$  方向的压缩强于  $y$  方向。通过对 (2) 式中参数的适当调整, 可以使 (2) 式的仿射变换所定义的自仿射曲线是某个连续函数的图, 且该自仿射曲线的计盒维数  $d_{\text{box}}$  由下式确定<sup>[10]</sup>:

$$d_{\text{box}} = 1 + \log(|c_1| + \dots + |c_m|) / \log m, \quad (4)$$

特别地, 令  $m = 2$ ,  $1/2 < |c_1| = |c_2| = |c| < 1$ , 则 (4) 式变为

$$d_{\text{box}} = 1 + \log(2|c|)/\log 2, \quad (5)$$

即

$$|c| = 2^{d_{\text{box}} - 2}. \quad (6)$$

从而, 给定计盒维数  $d_{\text{box}}$ , 通过 (6) 式可确定相应的压缩系数  $|c|$ , 使得由 (2) 式的仿射变换所定义的自仿射曲线的计盒维数为  $d_{\text{box}}$ , 该分形曲线的构造方法的随机形式可通过指定 (6) 式中的压缩系数取正值和取负值的概率来实现 (如  $c$  分别以概率  $1/2$  取正值或取负值). 另外一种得到给定维数并且经过给定点  $A$  和  $B$  的分形曲线的方法是相似变换. 设初始元为线段  $\overline{AB}$ , 而生成元为以被替代直线段为底边的等腰三角形中与腰相对应的两线段, 设该等腰三角形的底角为  $\theta$ , 则该相似变换的压缩比为  $1/(2\cos\theta)$ . 对此相似变换而言, 开集条件成立, 从而对应于由该相似变换所定义的严格自相似集的分形曲线的计盒维数  $d_{\text{box}}$  满足下列方程<sup>[10]</sup>:

$$2 \cdot \left[ \frac{1}{2\cos\theta} \right]^{d_{\text{box}}} = 1, \quad (7)$$

或

$$\cos\theta = 2^{(1-d_{\text{box}})/d_{\text{box}}}, \quad 0 \leq \theta \leq \pi/4. \quad (8)$$

该分形曲线是用随机方式来构造的, 它可通过指定在被去掉线段的那一边来放置新的一对线段的概率来实现, 且由此随机形式构造的曲线的极限曲线的计盒维数  $d_{\text{box}}$ , 以概率 1 由 (8) 式确定<sup>[10]</sup>. 由此, 对某个真实缺陷而言, 如果已知  $d_{\text{min}}$ ,  $d_{\text{max}}$ ,  $\theta_{\text{min}}$ ,  $\theta_{\text{max}}$  及该轮廓的计盒维数  $d_{\text{box}}$  的值, 那以  $d_{\text{min}}$ ,  $d_{\text{max}}$ ,  $\theta_{\text{min}}$ ,  $\theta_{\text{max}}$  为参数按下面图 2 所示的方法确定缺陷的初始轮廓 (不失一般性, 图中假设参考方向为水平方向, 且  $\theta_{\text{min}}=0$ )

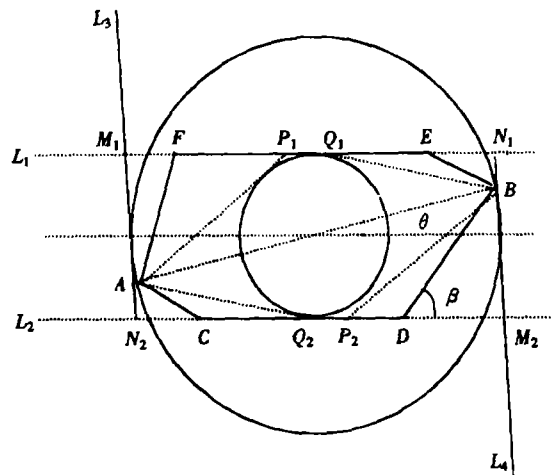


图 2 模拟缺陷初始轮廓的确定

图 2 中确定模拟缺陷初始轮廓的步骤为: (1) 分别以  $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  为直径做同心圆; (2) 由  $d_{\min}$  和  $d_{\max}$  定义, 确定对应于  $d_{\min}$  的且与小圆相切的两平行线  $L_1$ 、 $L_2$  和对应于  $d_{\max}$  的且与大圆相切的两平行线  $L_3$ 、 $L_4$ . 线  $L_1$  与大圆分别交于  $M_1$  点和  $N_1$  点, 线  $L_2$  与大圆分别交于  $M_2$  点和  $N_2$  点; (3) 由  $\theta_{\min}$  和  $\theta_{\max}$  的定义可知  $\beta = |\theta_{\min} - \theta_{\max}|$ . 对于某真实缺陷而言, 与  $d_{\max}$  所对应的两平行线与该真实缺陷轮廓两切点的连线必与该平行线垂直<sup>[10]</sup>, 即该两切点连线的长度恰为  $d_{\max}$ . 从而线  $L_3$  和线  $L_4$  与大圆的切点  $A$  和  $B$  可作为所模拟缺陷初始轮廓的两顶点, 且直线  $AB$  与水平方向的夹角  $\theta = \beta - \pi/2$ ; (4) 从  $A$  点向小圆作两切线, 分别交线  $L_1$ 、 $L_2$  于点  $P_1$  和点  $Q_2$ . 从  $B$  点向小圆作两切线, 分别交线  $L_1$ 、 $L_2$  于点  $Q_1$  和点  $P_2$ ; (5) 在点  $N_2$  与点  $Q_2$  之间的线段上随机地选取一点  $C$ , 在点  $P_2$  与点  $M_2$  之间的线段上随机地选取一点  $D$ , 在点  $Q_1$  与点  $N_1$  之间的线段上随机地选取一点  $E$ , 在点  $M_1$  与点  $P_1$  之间的线段上随机地选取一点  $F$ ; (6) 以多边形  $ACDBEFA$  为所模拟缺陷的初始轮廓. (7) 当比值  $d_{\max}/\theta_{\min}$  接近于 1 时, 上述确定初始轮廓过程中的  $C$ 、 $D$ 、 $E$ 、 $F$  四个点中可能会有某些点取不到, 此问题可通过在弧  $M_1N_2$  和弧  $N_1M_2$  上取一些点做为初始轮廓的顶点的方法解决.

总之, 上述确定模拟缺陷初始轮廓的原则是要求初始轮廓必须在由图 2 中所示的由大圆、小圆、线  $L_1$  及线  $L_2$  所围的区域内, 从而使得所模拟缺陷的初始轮廓保持了原真实缺陷的  $d_{\min}$ 、 $d_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$  和  $\theta_{\max}$  四个特征. 在此初始轮廓的基础上, 以初始轮廓多边形的每一边为初始元且以计盒维数  $d_{\text{box}}$  为参数, 利用上述分形曲线构造方法的随机形式进行分形插值所得到的模拟缺陷保持了相应真实缺陷轮廓的  $d_{\min}$ 、 $d_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$ 、 $\theta_{\max}$  和  $d_{\text{box}}$  五个特征量, 那么用此模拟缺陷来近似真实缺陷的轮廓, 其近似精度应比直接用圆进行近似的精度高. 由于在此分形插值模型中, 每个模拟缺陷的  $d_{\min}$ 、 $d_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$ 、 $\theta_{\max}$  和  $d_{\text{box}}$  五个特征量及其组合是直接由真实缺陷提取得到的, 所以它们的值及其组合是确定的, 故称此利用确定数据得到的最大圆缺陷模型、最小圆缺陷、椭圆模型及分形插值模型为各模型的理想形式, 这些模型的理想形式可用来衡量各建模方法在理想情况下的效果. 为了分析所提出的真实缺陷轮廓的分形插值模型与传统的最大圆缺陷模型、最小圆缺陷模型及椭圆模型之间在理想情况下的差别, 本文对采集得到的 565 幅冗余物缺陷样本的  $d_{\min}$ 、 $d_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$ 、 $\theta_{\max}$  和  $d_{\text{box}}$  五个特征量及其组合进行了提取. 利用这些准确的特征量值及其组合, 最大圆缺陷模型、最小圆缺陷模型、椭圆模型及分形插值模型分别在理想情况下给出了真实缺陷的近似轮廓, 而这些近似轮廓可用来确定相应的真实缺陷在特定布线单元上的等效圆形缺陷(在该布线单元上引起故障的概率与原真实缺陷引起故障的概率完全相同的圆形缺陷<sup>[6]</sup>) 粒径的估计值, 该估计值与利用相应真实缺陷的轮廓所确定的等效圆形缺陷粒径的值之间的误差越小, 则真实缺陷在相应布线单元上引起故障概率的估计精度越高<sup>[6]</sup>, 从而真实缺陷在相应布线单元上引起故障的概率的预报精度越高, 并进而使得 IC 的功能成品率的预报精度越高. 此处, 利用最大圆缺陷模型、最小圆缺陷模型、椭圆模型及分形插值模型分别得到了相应真实缺陷在具有代表意义的等线宽非等间距平行布线单元上的等效圆形缺陷粒径的估计值<sup>[6]</sup>, 图 3 和图 4 分别统计了这 565 个真实缺陷样本的等效圆形缺陷粒径值及利用最大圆模型、最小圆模型及椭圆模型对该粒径值的估计结果.

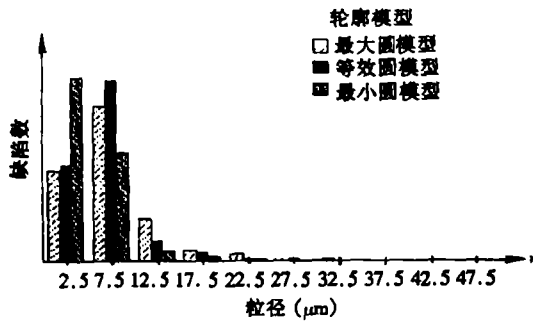


图 3 等效圆形缺陷粒径分布的比较 (最大圆模型及最小圆模型的理想形式)

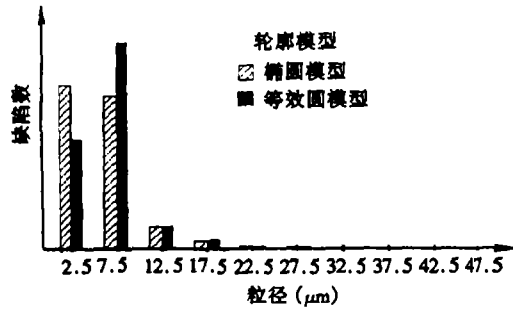


图 4 等效圆形缺陷粒径分布的比较 (椭圆模型的理想形式)

从图 3 和图 4 的比较结果可以看出: 最大圆模型、最小圆模型及椭圆模型在理想情况下估计得到的真实缺陷的等效圆形缺陷粒径的分布与实测得到真实缺陷的等效圆形缺陷粒径的分布之间的误差较大。对利用几种模型在理想情况下估计得到的真实缺陷的等效圆形缺陷各粒径出现频率的相对误差的绝对值和的进一步的定量分析结果是: 最大圆模型的相对误差为 20%, 最小圆模型相对误差为 58%, 椭圆模型的相对误差为 32%, 而所提出的分形插值模型的相对误差是随机的, 图 5 统计了分形插值模型在理想情况下估计得到的真实缺陷的等效圆形缺陷各粒径出现频率的相对误差的绝对值和的分布。

由图 5 的结果可以看出, 在理想情况下, 分形插值模型的相对误差几乎都在 10% 以下。由此结果可知, 与最大圆模型、最小圆模型及椭圆模型相比, 利用分形插值模型估计得到的真实缺陷的等效圆形缺陷粒径的分布与实测结果之间的误差要小的多, 从而利用分形插值模型可大大提高真实缺陷引起故障概率的预报精度<sup>[6]</sup>, 并进而大大提高 IC 功能成品率的预报精度。

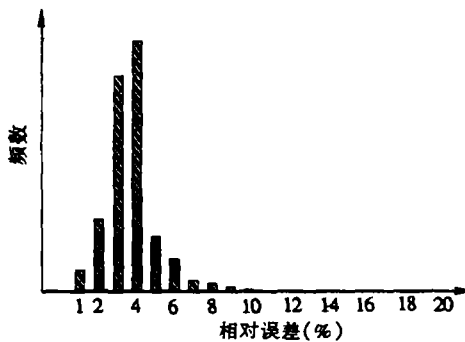


图 5 理想情况下分形插值模型的误差分布

### 4 实际情况下真实缺陷轮廓的分形插值模型

由上述的分析结果可知: 在理想情况下的真实缺陷轮廓的分形插值模型中, 真实缺陷的  $d_{min}$ ,  $d_{max}$ ,  $\theta_{min}$ ,  $\theta_{max}$  和  $d_{box}$  五个特征量及其组合是准确的, 从而使得分形插值模型的精度很高。但是, 这五个特征量及其组合在实际应用中是随机的, 无法事先准确得到。对

采集到的 565 幅冗余物缺陷样本的  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$  和  $d_{\text{box}}$  五个特征量的现有的研究表明: 最大方向尺寸  $d_{\max}$  与最小方向尺寸  $d_{\min}$  的比值  $r_a = d_{\max}/d_{\min}$  服从  $\Gamma$ -分布<sup>[11]</sup>;  $\theta_{\min}$  与  $\theta_{\max}$  之间的夹角的绝对值  $|\theta_{\max} - \theta_{\min}|$  在  $[0, \pi]$  上的服从韦布 (Weibull) 分布, 且  $|\theta_{\max} - \theta_{\min}|$  与参数  $r_a$  之间是相关的<sup>[9]</sup>;  $\theta_{\min}$  在  $[0, \pi]$  上的分布可由文献 [9] 中构造的分布函数进行很好地表征;  $d_{\min}$  和  $d_{\text{box}}$  可用不同参数的韦布分布进行很好的表征<sup>[9]</sup>。基于这些研究结果, 下面给出了  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$  和  $d_{\text{box}}$  五个特征量的值及其组合均是随机情况下的真实缺陷轮廓的分形插值模型:

- (1) 由  $d_{\max}$  的分布产生  $d_{\max}$  的随机数;
- (2) 由  $r_a = d_{\max}/d_{\min}$  的分布产生比值  $r_a$  的随机数, 并结合  $d_{\max}$  的随机数得到  $d_{\min}$  的随机数;
- (3) 由  $\theta_{\min}$  的分布产生  $\theta_{\min}$  的随机数;
- (4) 由  $|\theta_{\max} - \theta_{\min}|$  的分布及比值  $r_a$  的随机数产生  $|\theta_{\max} - \theta_{\min}|$  的随机数, 并结合  $\theta_{\min}$  的随机数产生  $\theta_{\max}$  的随机数;
- (5) 由  $d_{\text{box}}$  的分布产生  $d_{\text{box}}$  的随机数;
- (6) 利用得到的随机数  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$  和  $d_{\text{box}}$ , 由分形插值模型得到真实缺陷的模拟缺陷;
- (7) 由模拟得到的缺陷进行 IC 故障分析或 IC 成品率的模拟;
- (8) 对下一个缺陷, 重复上述的步骤 (1)~(7)。

基于此随机数据得到的最大圆缺陷模型、最小圆缺陷模型、椭圆模型及分形插值模型用来衡量各模型在实际情况下的建模效果。利用采集的 565 个冗余物缺陷统计得到的各特征参数的分布规律及各模型的随机形式, 本文进行了 500 多组模拟, 每组模拟中产生 565 个模拟缺陷的  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ ,  $\theta_{\max}$  和  $d_{\text{box}}$  五个特征量。利用每组模拟中得到的 565 个模拟缺陷的  $d(0)$ ,  $d_{\min}$ ,  $d_{\max}$ ,  $\theta_{\min}$ , 和  $\theta_{\max}$  五个特征量, 各模型在实际情况下可得到相应真实缺陷在具有代表意义的等线宽非等间距平行布线单元上的等效圆形缺陷粒径的估计值的分布, 该估计值的分布与利用相应的 565 个真实缺陷的轮廓所确定等效圆形缺陷粒径的分布之间的误差越小, 则该模型在实际中对真实缺陷在相应布线单元上引起故障的概率的估计精度越高, 从而对真实缺陷在相应布线单元上引起故障的概率的预报精度越高。由于在实际情况下利用各模型进行模拟所得到的结果是随机的, 这使得每组模拟中估计得到的真实缺陷的等效圆形缺陷各粒径出现频率与真实缺陷的等效圆形缺陷各粒径出现频率之间的相对误差的绝对值和也是随机的。图 6 统计了这 500 多组模拟中利用分形插值模型估计得到的真实缺陷的等效圆形缺陷各粒径出现频率与真实缺陷的等效圆形缺陷各粒径出现频率之间的相对误差的绝对值和的分布。

由图 6 的结果可以看出: 在实际情况下, 利用分形插值模型进行模拟所得到的各粒径出现频率之间的相对误差的绝对值和几乎都小于 20%, 而在每次模拟中, 分段线性插值模型的随机形式的误差比其它模型的随机形式的误差均小 7% 以上。多次的模拟结果表明: 在实际情况下, 其它各模型对随机数的质量表现出很强的敏感性, 若产生的随机数的分布与相应的真实分布偏离较大时, 其它各模型的误差会急剧增加, 而分形插值模型的误差不会出现很大变化, 表现出了很好的鲁棒性 (Robustness)。进一步, 利用精细的 Kolmogorov 检验方法<sup>[12]</sup>进行分布检验知: 在显著性水平  $\alpha=0.05$  下, 利用分形插值模型得到的该相对误差的绝对值的和服从正态分布  $N(0.12, 0.027)$ , 最大圆模型的该误差服从正态分布  $N(0.26, 0.03)$ , 最小圆模

型的该误差服从正态分布  $N(0.52,0.04)$ , 而椭圆模型的该误差服从正态分布  $N(0.31,0.04)$ 。图 7 给出了各模型在实际情况下的误差分布。

图 7 的对比结果表明: 在实际情况下, 分形插值模型的精度与其它模型相比有了很大的提高, 从而验证了本文所提出的分形插值模型的有效性。

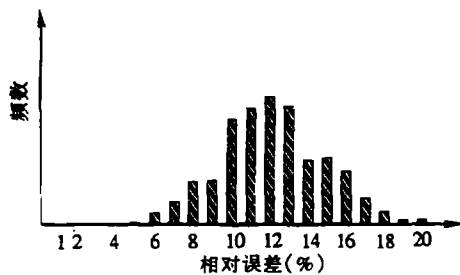


图 6 实际情况下分形插值模型的误差分布

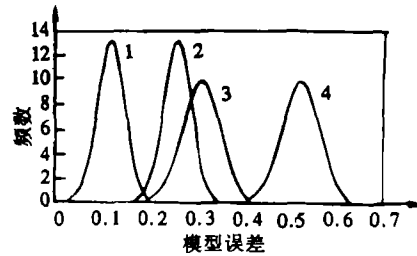


图 7 实际情况下各模型误差分布的对比  
1: 分形插值模型 2: 最大圆模型  
3: 椭圆模型 4: 最小圆模型

## 5 结 论

本文基于分形插值的思想提出了一个表征 IC 制造中真实缺陷轮廓的新模型——分形插值模型。该模型无论是在理想情况下还是在实际情况下, 均比现有的最大圆模型、最小圆模型及椭圆模型的性能有了较大的提高。该新模型为提高 IC 缺陷所引起故障概率的计算精度及改善 IC 产品功能成品率的预报精度提供了一条新途径。本文提出的缺陷模拟方法对其它领域中类似于缺陷的颗粒的模拟也有较好的借鉴意义。

## 参 考 文 献

- [1] Ferguson F J, Shen J P. Extraction and simulation of realistic CMOS faults using inductive fault analysis, presented at the Internat. Test Conf., Paris: 1988, 136-140.
- [2] Prabhu A V F. Modeling the critical area in yield forecasts, IEEE J. of Solid-State Circ., 1985, 20(4): 874-878.
- [3] Lukaszek W, Yarbrough W, Walker T, Meindl J. CMOS test chip design for process problem debugging and yield prediction experiments, Solid State Technol., 1986, 29(3): 87-93.
- [4] Spiegel G, Strole A P. Optimization of deterministic test sets using an estimation of product quality, Presented at the Asian Test Symp., Beijing, China: Nov. 1993, 67-72.
- [5] Hess C, Strole A. Modeling of real defect outlines for defect size distribution and yield prediction, Proc. IEEE Int. Conference on Microelectronics Test Structures, March 1993, 45-50.
- [6] 姜晓鸿, 郝跃等. IC 制造中的真实缺陷轮廓表征方法研究, 电子学报, 1998, 26(2): 11-14.
- [7] 林鸿溢等. 分形论 - 奇异性探索. 北京: 北京理工大学出版社, 1992, 98-125.
- [8] 姜晓鸿, 郝跃, 徐国华. IC 制造中的真实缺陷轮廓的分形特征. 半导体学报, 19(2): 123-126.
- [9] 姜晓鸿, 郝跃, 徐国华. IC 缺陷轮廓的盒维数及其方向的分布特征. 半导体学报, 19(8): 625-630.
- [10] [英] 肯尼思·法尔可内著, 曾文曲等译. 分形几何——数学基础及其应用. 沈阳: 东北大学出版社, 1993, 110-130.
- [11] 姜晓鸿, 郝跃, 徐国华. Goodness-of-FIT tests for distributions of the ratio  $d_{\max}/d_{\min}$  of the real defect outlines in the IC manufacturing process. J. of Xidian University, 1997, 24(增刊): 35-50.

[12] 中山大学数学力学系编. 概率论及数理统计(下册). 北京: 高等教育出版社, 1985, 138-150.

## FRACTAL INTERPOLATION MODEL OF IC DEFECT OUTLINES

Jiang Xiaohong    Zhao Tianxu    Hao Yue    Xu Guohua

(*Microelectronics Institute, Xidian University, Xi'an 710071*)

**Abstract** Available defect outline model used for yield prediction and inductive fault analysis of integrated circuits (IC) all model a real defect by replacing its real rugged outlines with circular discs or squares, then great errors were aroused in these models. Based on the idea of fractal interpolation, this paper presents a new model to characterize those real defect outlines. The comparison of the new model with those models available indicates that the new model is a more accurate defect outline model.

**Key words** IC defect, Fractal interpolation, IC fault, IC yield, Equivalent circular defect

姜晓鸿: 男, 1966年生, 博士, 讲师, 主要从事集成电路缺陷建模及成品率分析研究.

赵天绪: 男, 1964年生, 讲师, 主要从事集成电路可制造性的研究.

郝跃: 男, 1958年生, 教授, 博士生导师, 主要从事微电子学及半导体器件的研究.

徐国华: 男, 1937年生, 教授, 博士生导师, 主要从事SIM及系统工程的研究.

## 本 刊 声 明

为增加本刊论文在国内外学术界交流的渠道, 本刊已加入美国 Ei 数据库、中国科技引文数据库、中国无线电电子学文摘数据库、中科院科技文献数据库。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章摘要编入上述数据库, 请在来稿时声明, 本刊将做适当处理。

本刊的 E-mail 信箱已改为 [wbzhou@mail.ie.ac.cn](mailto:wbzhou@mail.ie.ac.cn) 请使用该新信箱。

《电子科学学刊》编辑部