

双池算法软件在对准偏差计算中的应用

徐振明 齐国生 贾惠波 徐常胜

(清华大学精密仪器系, 北京 100084)

摘要 提出了一种高精度的对准偏差算法——双池算法。根据这种算法, 将暗场对准系统中扫描采集的光电对准信号, 通过求出整个扫描曲线的对称点以代替传统的极值点或阈值点, 使重复对准精度达 $0.11 \mu\text{m}$ (3σ)。文中对双池算法的原理、特点及数学表达式进行了详细的论述, 并给出了实验结果。

关键词 双分探测器, 对准, 算法, 精度。

1 引言

直接分步投影光刻机(DSW)是大规模集成电路制造中的重要设备, 而自动对准技术又是

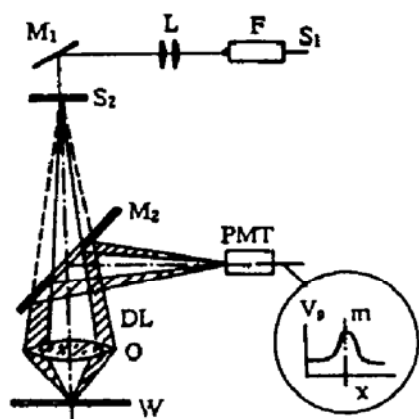


Fig. 1 The principle of dark field alignment

S_1 : source, F : fiber, L : lens, M_1 : mirror, M_2 : mirror with a hole, S_2 : Slit, DL : dark light, O : objective, W : wafer, PMT : photomultiplier, V_p : PMT output, x : displacement, m : alignment point

分步投影光刻机中最关键的技术之一^[2], 当集成电路工艺技术进入亚微米线宽领域时, 除了对光刻物镜的分辨率提出很高要求外, 还需对对准系统的精度和工作可靠性提出更高要求, 为此作者设计了图 1 所示的暗场对准系统^[1]。由光源来的光经光纤和聚光镜照亮狭缝, 该狭缝被暗场物镜成像在硅片面上, 在狭缝和物镜之间有一中间开孔的专用反射镜, 这个孔作为狭缝的实际孔径光阑使其以半数值孔径成像。硅片上对准标记是与狭缝同方向的条形内凹或凸起的刻线, 当狭缝照射到对准标记边沿台阶上时, 标记边沿的散射光将偏移原来的入射光锥, 向后经物镜照射到专用反射镜的边缘镀有反射膜的表面上, 反射后进入探测光路, 被高灵敏度的光电倍增管接收。也可插入显微目镜观察, 此时看到的是黑背景中又细又锐的亮线。暗场对准系统的特点是不让造成

背景很亮的主要照明光束进入物镜, 只允许硅片对准标记边沿散射的光线进入物镜成像, 故能在暗的背景上给出闪闪发亮的标记边沿像, 视场背景虽较暗, 但像的对比很好。通常探测器上接收到的光通量是狭缝像和硅片上标记位置的函数, 当做好标记的硅片置于机械微动台上横向扫描时, 对光电倍增管输出信号用计算机进行采样, 就得到了图 1 右下方典型的位移-

电压曲线。

2 双池算法原理

对图 1 右下方的光电倍增管输出的位移-电压曲线，人们不是简单地用找到曲线的极值点、半功率点或别的特定数值点的位置来计算对准位置的偏差，而是应用了双池算法，即用找到位移-电压曲线最对称点的位置来计算对准偏差。由于对准信号曲线通常是类似的，且曲线的对称性较好，所以采用双池算法是相当合理的。图 2 的上图是位移-电压曲线，在其中插入一双池探测器，从双池探测器的 a 点积分到 b 点，再从 b 点积分到 c 点，将两积分相减。扫描整个位移-电压曲线，得到了下部处理后的误差曲线 E(n)。设双池探测器的宽度为 e，位移-电压曲线的横座标为 x，纵座标为 V，曲线的极值点在 m 点附近。将积分的起始点选在 m - e/2，得到双池算法的表达式：

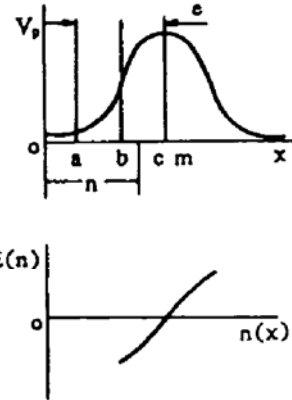


Fig. 2 The principle of bi-cell detector algorithm

$$E(n) = \int_{a-e/2}^a V_p dx - \int_a^{a+e/2} V_p dx, \tag{1}$$

式中 $m - e/2 \leq n \leq m + e/2$ ，当 $n = m - e/2$ 时，双池探测器左端位置对应于 $m - e$ 点，即积分的起始点：

$$E(m - e/2) = \int_{m-e}^{m-e/2} V_p dx - \int_{m-e/2}^m V_p dx$$

当 $n = m - e/2 + 1$ ，从起始点向右移动一个整数单位，写出双池探测器积分表达式，用分段积分性质进行变换，有：

$$\begin{aligned}
 E(m - e/2 + 1) &= \int_{m-e+1}^{m-e/2+1} V_p dx - \int_{m-e/2+1}^{m+1} V_p dx \\
 &= E(m - e/2) - V_p(m - e + 1) \\
 &\quad + 2V_p(m - e/2 + 1) - V_p(m + 1) \tag{2}
 \end{aligned}$$

通过对整数列阵单元简单地加和减的运算，可以获得适用于计算机运算的双池算法递推公式：

$$\begin{aligned}
 E(n) &= E(n - 1) - V_p(m - e + n) \\
 &\quad + 2V_p(m - e/2 + n) - V_p(m + n) \tag{3}
 \end{aligned}$$

积分公式中的积分长度为 e，等于双池探测器的宽度。e 越大，探测器两边的面积差越大，误差曲线的斜率越大，计算精度也越高，但计算工作量较大。一般选 V，曲线上最高点和最低点之间横向距离作为双池探测器的宽度 e，积分从 $m - e/2$ 点(靠近前半功率点)开始，到 $m + e/2$ (靠近后半功率点)结束。双池探测器从左到右对 V，曲线逐点扫描积分，得到图 2 下部的误差曲线 E(n)。E(n) 曲线的零值点是 V，曲线的对称点，它就是理想的对准位置。

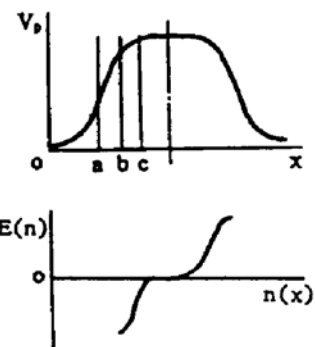


Fig. 3 Behaviour of processing unsharp curve with bi-cell detector algorithm

然而在光刻硅片不同的工艺处理过程中，对准标记不可避免地遭到某些损害，引起位移-

电压曲线中部变得平缓(图 3 上部)。用双池算法处理这种曲线,得到图 3 下部的误差曲线 $E(n)$ 。该误差曲线在零值点附近很平坦,对零点位置的判断精度很低,求出的对准偏差精度会明显降低。

3 优化双池算法

为解决上述 V_s 曲线平缓时双池算法精度下降的缺点,可使用优化双池算法如图 4 所示。先找出 V_s 曲线上两近似半功率点的位置,以其间隔 l 作为双探测器左右两部分分开的距离,仍以 a 点到 b 点的积分减去 c 点到 d 点的积分,并对整个 V_s 曲线进行扫描,将得到图 4 下部的误差曲线 $E(n)$ 。

$$E(n) = \int_{n-l/2-e/2}^{n-l/2+e/2} V_s dx - \int_{n+l/2-e/2}^{n+l/2+e/2} V_s dx$$

式中 $m - l/2 \leq n \leq m + l/2$, 从 $n = m - l/2$ 开始积分:

$$E(m - l/2) = \int_{m-l-e/2}^{m-l+e/2} V_s dx - \int_{m-e/2}^{m+e/2} V_s dx$$

类似于前面的演算过程,可得到适用于计算机运算的优化双池算法递推公式:

$$E(n) = E(n - 1) - V_s(m - l - e/2 + n) + V_s(m - l + e/2 + n) + V_s(m - e/2 + n) - V_s(m + e/2 + n)$$

优化双池算法公式中双池探测器的宽度 e 不能太大,当 $e = l$ 时,探测器两部分靠拢,间隔为零,类似于开始讨论的双池算法,处理平缓 V_s 曲线的能力较差。当 $l/2 < e < l$ 时,探测器右半部分面积变化缓慢,得到的误差曲线 $E(n)$ 的斜率也不大。所以最好取 $0 < e < l/2$ 。此时不管 V_s 曲线的形状如何,均可使 $E(n)$ 曲线保持足够的斜率值,从而提高了对准偏差的计算精度。图 5 表示了优化双池算法处理平缓 V_s 曲线的能力,与对准位置对应的零值点两边的误差曲线很陡,对准位置的判断精度很高。

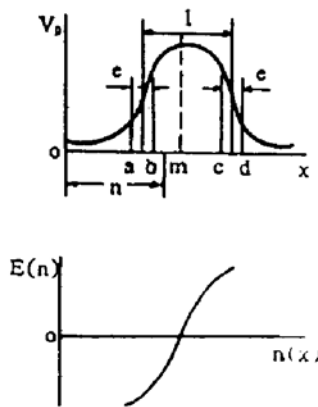


Fig. 4 The principle of optimum bi-cell detector algorithm

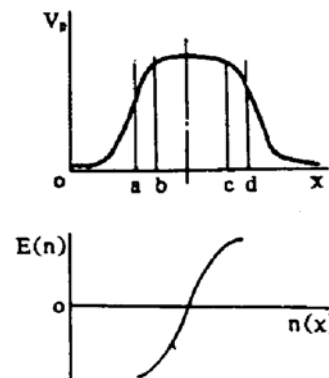


Fig. 5 Behaviour of processing unsharp curve with optimum bi-cell detector algorithm

双池算法是一种快速求对准信号曲线最对称点的方法。算法本身利用了数据的对称性相减,所以对称性的噪音可相互抵消。又由于扫描整个曲线,曲线上的所有点都参与了贡献,求出的是曲线上所有点的平均效应,这就消除了某些偶然误差及高频分量引起误差的影响。

如传统算法中求极值点或阈值点, 当该点的采样值发生突然变化时, 将直接影响到对准偏差的计算精度。

4 实验结果

实验取氮化硅、氧化硅、多晶硅、硅层、铝层等五种工艺层上的对准标记进行对准试验, 使用计算机扫描采样, 对获取的信号曲线用优化双池算法处理, 求出的误差曲线再用最小二乘法进行线性拟合如图 6 所示。其零值点位置就是 V_r 曲线的最对称点位置, 也就是理想的对准目标位置。试验中每次扫描采样 51 点, 每组对准 10 次以上, 狭缝宽分别为 $2\ \mu\text{m}$, $4\ \mu\text{m}$, $6\ \mu\text{m}$, 试验结果见表 1。

Table 1. The alignment accuracy of bi-cell algorithm

No.	width of slit μm	times of alignment	accuracy of alignment μm (3σ)
1	2	10	0.0618
	4	10	0.0549
2	2	10	0.0228
3	2	10	0.107
	6	10	0.104
4	2	10	0.0879
5	2	20	0.110

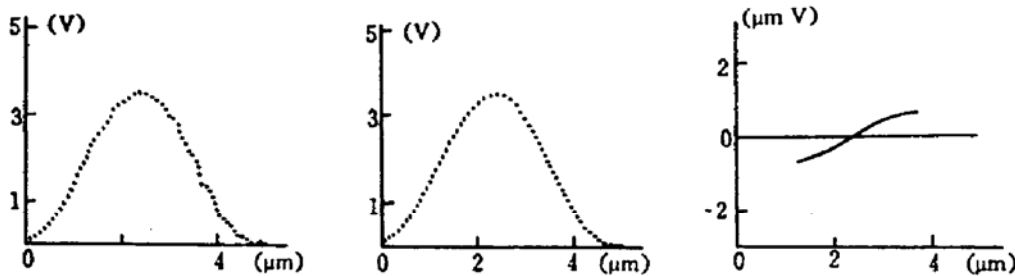


Fig. 6 Experimental results and curve

(a) V_r curve, (b) smoothing curve, (c) dot line, $E(n)$ curve. solid line, fitting curve

图 6 表示了对准标记做在氮化硅层上的试验结果。缝宽 $2\ \mu\text{m}$, 采样步距 $0.1\ \mu\text{m}$, 对准 10 次, 重复对准精度 $0.107\ \mu\text{m}$ (3σ)。 (a) 为光电倍增管输出的位移-电压曲线 (即 V_r 曲线)。 (b) 是 V_r 经平滑处理后的曲线。 (c) 中虚线是用优化双池算法求出的误差曲线 (即 $E(n)$ 曲线), 实线为最小二乘法拟合后的线性曲线。

结 论 暗场对准技术是一种高信噪比、工艺适应性广的投影光刻对准技术, 双池算法软件又进一步提高了对准偏差计算精度, 多种硅片的重复对准试验精度达 $0.11\ \mu\text{m}$ (3σ)。传统的阈值点计算法精度仅 $0.25\ \mu\text{m}$ 。实验结果表明, 双池算法软件设计合理, 计算简便, 既提高了对准精度又增强了对准工作的可靠性。双池算法软件的应用成功为我国投影光刻设备进入亚微米特性线宽的应用领域提供了重要的对准手段。

参 考 文 献

- [1] Janus S. Wilczynski, Optical step and repeat camera with dark field automatic alignment. *J. Vac. Sci. Technol.*, 1979, **16**(6): 1929~1933
- [2] David R. Beaulieu, Paul P. Hellebrekers, Dark filed technology-a practical approach to local alignment. *Proc. SPIE*, 1987, **772**: 142
- [3] 徐振明, 贾惠波, 齐国生, 自动投影光刻中的暗场对准技术. *清华大学学报*, 1994, **34**(5): 39~47

Bi-Cell Detector Algorithm for Calculating Misalignment

Xu Zhenming Qi Guosheng Jia Huibo Xu Changsheng

(*Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084*)

(Received 13 September 1994; revised 16 November 1994)

Abstract A unique alignment algorithm- bi-cell algorithm is presented. With the alignment scan curve generated from the dark field alignment system, a bi-cell detector implemented in software is used for calculating the misalignment. In the bi-cell detector algorithm the symmetry point over the alignment scan curve is calculated as the ideal alignment point instead of the peak value point or other characteristic value point. Results show that the alignment accuracy better than $0.11 \mu\text{m}$ (3σ) can be obtained. The principle, features and mathematical formulas of the algorithm are described in detail.

Key words bi-cell detector, alignment, algorithm, accuracy.