

# 多极静电偏转器获得均匀偏转场的方法\*

蒋欣荣 那兆凤

(中国科学院电工研究所)

## 提 要

本文推导了两种类型的多极静电偏转器在“无穷长”情况下场分布的普遍解;提供了多极静电偏转器在光轴附近获得均匀偏转场的方法;计算了六种实用的多极静电偏器,给出了有关公式和数据,分析了两种多极静电偏器之间的联系和区别。

## 一、引 言

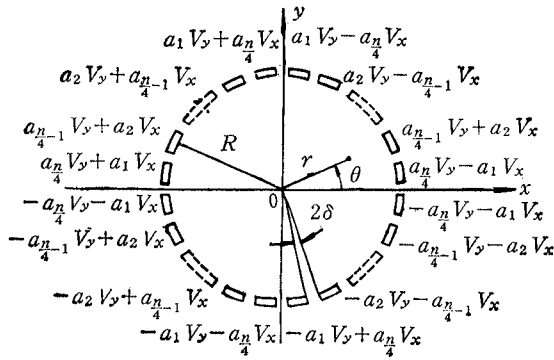
国外有些先进的扫描电子束曝光设备已采用多极静电偏转器<sup>[1-6]</sup>,获得了比磁偏转高得多的扫描速度。但国外的文献对这种多极静电偏转器的理论研究(如三维情况下偏转场的分布,获得均匀偏转场的方法,偏转象差,等等)报道很少。多极静电偏转器作为一种电子光学器件,适用于一切导致电子束偏转的场合。因此,对这种偏转器进行全面的分析研究,具有广泛的实用意义。本文主要介绍多极静电偏转器获得均匀偏转场的方法。有关多极静电偏转器在三维情况下场分布的普遍解、均匀偏转场与偏转象差的关系、多极静电偏转器的结构优化设计公式和计算机程序以及在电子束曝光设备中的应用、电子束多极静电偏转系统偏转象差校正方法等内容将另文讨论。

## 二、电极共用式多极静电偏转器

图1为电极共用式 $n$ 极静电偏转器,简称 $n$ 极ECD(Electrodes Co-operation Deflector)。在以 $R$ 为半径的圆柱面上均匀地分布 $n$ 块等弧长的圆弧形电极。 $2\delta$ 表示电极的缝隙夹角,显然应取 $\delta < \frac{\pi}{n}$ 。 $V_x$ 、 $V_y$ 分别表示 $x$ 、 $y$ 方向的偏转信号,它们共同作用在一块电极上,即“电极共用”。电极数 $n = 8, 12, 16, \dots$ 。 $a_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, \dots, \frac{n}{4}$ )称为均场调节参数,规定取 $a_1 = 1$ ,  $a_i$  ( $i = 2, 3, 4, \dots, \frac{n}{4}$ )相对 $a_1$ 取值。

假定图1所示的 $n$ 极ECD的夹角 $\delta$ 较小,电极缝隙之间的电位分布是线性的,偏转

\* 1985年6月5日收到,1985年10月16日修改定稿。

图1  $n$  极 ECD

器是“无穷长”的。在这种情况下,偏转器偏转空间电位分布的普遍解为(推导见附录 I):

$$\begin{aligned}
 \varphi(r, \theta) = & \sum_{k=1}^{\infty} P(k) \frac{\sin k\delta}{k\delta} \left[ \frac{V_x}{k} \left(\frac{r}{R}\right)^k \cos k\theta \right. \\
 & \left. + \frac{V_y}{k} \left(\frac{r}{R}\right)^k \sin \frac{\pi}{2} k \sin k\theta \right] = P(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \\
 & \cdot \left[ V_x \frac{r}{R} \cos \theta + V_y \frac{r}{R} \sin \theta \right] + P(3) \frac{\sin 3\delta}{3\delta} \\
 & \cdot \left[ \frac{V_x}{3} \left(\frac{r}{R}\right)^3 \cos 3\theta - \frac{V_y}{3} \left(\frac{r}{R}\right)^3 \sin 3\theta \right] \\
 & + P(5) \frac{\sin 5\delta}{5\delta} \left[ \frac{V_x}{5} \left(\frac{r}{R}\right)^5 \cos 5\theta + \frac{V_y}{5} \left(\frac{r}{R}\right)^5 \sin 5\theta \right] + \dots, \quad (1)
 \end{aligned}$$

其中

$$\left. \begin{aligned}
 P(k) &= \frac{8}{\pi} \sin \frac{k\pi}{n} \sum_{i=1}^{\frac{n}{4}} a_i \cos \frac{k\pi}{n} (2i-1); \\
 n &= 8, 12, 16, \dots; k = 1, 3, 5, \dots; i = 1, 2, 3, \dots, \frac{n}{4}.
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

称(2)式为  $n$  极 ECD 场分布的特征关系式。从(1)和(2)式,可得如下结论。

### 1. 递推关系 (证明见附录 II)

(2) 式满足递推关系:

$$\left. \begin{aligned}
 P(n-k) &= -P(k); \\
 P(k+sn) &= P(k); \\
 n &= 8, 12, 16, \dots; k = 1, 3, 5, \dots, \frac{n-2}{2}; s = 1, 2, 3, \dots.
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

利用递推关系,可以很方便地求出全部特征值  $P(k)$ , ( $k = 1, 3, 5, \dots$ )。对于  $n$  极 ECD,只要求得  $n/4$  个特征值  $P(1), P(3), \dots, P\left(\frac{n-2}{2}\right)$  后,则所有的特征值  $P(k)$ , ( $k = \frac{(n+2)}{2}, \frac{(n+6)}{2}, \frac{(n+10)}{2}, \dots$ ) 也求得了。

## 2. 均场条件

在(2)式中,当调节参数  $a_i$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, n/4$ ;  $a_1 = 1$ ) 满足

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{n/4} a_i \cos \frac{k\pi}{n} (2i-1) &= 0; \\ n = 8, 12, 16, \dots; k &= 3, 5, 7, \dots, \frac{(n-2)}{2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

时,特征值  $P(k) \equiv 0$ , ( $k = 3, 5, 7, \dots, (n-2)/2$ )。利用递推关系,又得大批的  $P(k) \equiv 0$ ,

即:

$$\left. \begin{aligned} P(n-k) &= -P(k) = 0; \\ P(k+sn) &= P(k) = 0; \\ n = 8, 12, 16, \dots; k &= 3, 5, 7, \dots, \frac{(n-2)}{2}; s = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

不等于零的  $P(k)$  只有:

$$\left. \begin{aligned} P(sn \pm 1) &= \pm P(1) \neq 0; \\ n = 8, 12, 16, \dots; s &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(6) 式说明,不等于零的特征值  $P(k)$  很少;只要求得  $P(1)$ , 即可求得全部不等于零的  $P(k)$ ; (1) 式中绝大多数高次谐波项等于零。因此,在光轴附近, (1) 式完全可以写成:

$$\left. \begin{aligned} \varphi(r, \theta) &\approx P(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \left( V_x \frac{r}{R} \cos \theta + V_y \frac{r}{R} \sin \theta \right), \\ \varphi(x, y) &\approx P(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \left( \frac{V_x}{R} x + \frac{V_y}{R} y \right). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7) 式表示均匀偏转场,  $x$  和  $y$  方向的偏转电场分别为:

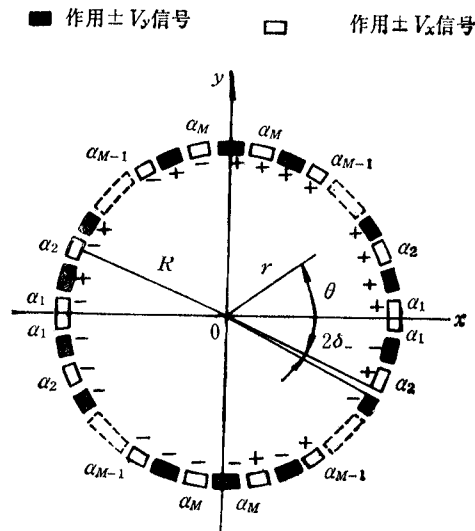
$$E_x \approx -P(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \frac{V_x}{R}; \quad E_y \approx -P(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \frac{V_y}{R}. \quad (8)$$

(8) 式表明,  $n$  极 ECD 偏转电场强度相当于“无穷大”平行板偏转器电场强度的  $P(1) \cdot \sin \delta / \delta$  倍。

(4) 式称为  $n$  极 ECD 的均场条件。当调节参数  $a_i$  满足均场条件时,  $n$  极 ECD 偏转空间的场分布才是最均匀的。

## 三、电极分离式多极静电偏转器

图 2 是电极分离式  $n$  极静电偏转器, 简称  $n$  极 ESD (Electrodes Separation Deflector)。偏转信号  $\pm V_x$ 、 $\pm V_y$  的分布如图 2 所示。与 ECD 比较, ESD 的偏转信号  $V_x$ 、 $V_y$  分别作用在不同的电极上即“电极分离”, 电极数  $n = 12, 20, 28, \dots$ 。偏转器结构对称于  $x$ 、 $y$  轴和直线  $\theta = \pi/4$ 、 $\theta = 3\pi/4$ 。对于  $n$  极 ESD, 选取缝隙夹角  $\delta < \pi/n$ , 调节参数为  $\alpha_i$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, M = (n+4)/8$ )。仍假定电极缝隙之间电位变化是线性的。在这种情况下, “无穷长”  $n$  极 ESD 偏转空间场分布的普遍解的形式同 (1) 式, 只

图2  $n$  极 ESD

要把  $P(k)$  换成  $Q(k)$  即可(推导见附录 III).  $Q(k)$  的表达式为(9)式. 需特别说明的是, 这里的调节参数  $\alpha_i$  表示电极所对的圆心角.

$$\left. \begin{aligned} Q(k) &= \frac{4}{\pi} \left\{ \sum_{i=2}^M [\sin k(\theta_i + \delta) - \sin k(\theta_i - \alpha_i - \delta)] + \sin k(\alpha_1 + \delta) \right\}; \\ Q_i &= \sum_{g=1}^i \alpha_g + \sum_{g=M-i+2}^M \alpha_g + 4(i-1)\delta; \\ n &= 12, 20, 28, \dots; k = 1, 3, 5, \dots; i = 2, 3, 4, \dots, M = \frac{(n+4)}{8}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

同理, 称(9)式为  $n$  极 ESD 场分布的特征关系式. 在 ESD 里, 特征式  $Q(k)$  不满足象 ECD 的  $P(k)$  那样的递推关系. 在(9)式里, 当调节参数  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, M = (n+4)/8$ ) 满足

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=2}^M [\sin k(\theta_i + \delta) - \sin k(\theta_i - \alpha_i - \delta)] + \sin k(\alpha_1 + \delta) &= 0; \\ Q_i &= \sum_{g=1}^i \alpha_g + \sum_{g=M-i+2}^M \alpha_g + 4(i-1)\delta; \\ 4 \sum_{i=1}^M \alpha_i + n\delta &= \pi; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$n = 12, 20, 28, \dots; k = 3, 5, 7, \dots, n/4.$$

时, 特征值  $Q(k) \equiv 0$  ( $k = 3, 5, 7, \dots, n/4$ ). 因此, 在光轴附近  $n$  极 ESD 偏转空间电位分布可以近似地写成:

$$\varphi(x, y) \approx Q(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \left( \frac{V_x}{R} x + \frac{V_y}{R} y \right). \quad (11)$$

同前, 把(10)式称为  $n$  极 ESD 的均场条件. 当调节参数  $\alpha_i$  满足均场条件时,  $n$  极

ESD 偏转空间的场分布最均匀。

### 四、多极静电偏转器实例计算

四极 ECD 或四极 ESD 作为偏转器是不理想的，因为不能通过选择调节参数，使(1)式的高次谐波项 ( $k = 3, 5, 7, 9, \dots$ ) 为零。所以，前述场的解不包含  $n = 4$  的情况。ECD 或 ESD 的极数越多，场分布越均匀，但极数太多，偏转器加工困难，ECD 的供电复杂，不实用。

由前面给出的公式，计算了六种实用的 ECD 和 ESD 的调节参数，特征值，均场程度等有关数据和公式列于表 1。

表 1 六种实用的 ECD 和 ESD 及其有关的数据和公式

静偏器 数据和公式 项目	ECD			ESD		
	八极	十二极	十六极	十二极	二十极	二十八极
均场调节参数值	$a_1 = 1$ $a_2 = \sqrt{2} - 1$	$a_1 = 1$ $a_2 = \sqrt{3} - 1$ $a_3 = 2 - \sqrt{3}$	$a_1 = 1$ $a_2 = 0.8473$ $a_3 = 0.5663$ $a_4 = 0.1983$	$\alpha_1 = 25^\circ - \delta$ $\alpha_2 = 20^\circ - \delta$	$\delta = 2^\circ$ 时 $\alpha_1 = 9.67^\circ$ $\alpha_2 = 19.64^\circ$ $\alpha_3 = 5.68^\circ$	$\delta = 2^\circ$ 时 $\alpha_1 = 0.38^\circ$ $\alpha_2 = 19.3^\circ$ $\alpha_3 = 9.98^\circ$ $\alpha_4 = 1.38^\circ$
等于零的特征值	$P(k) \equiv 0$ $k = m + 8s$ $m = 3, 5$ $s = 0, 1, 2, \dots$	$P(k) \equiv 0$ $k = m + 12s$ $m = 3, 5, 7, 9$ $s = 0, 1, 2, \dots$	$P(k) \equiv 0$ $k = m + 16s$ $m = 3, 5, 7, 9, 11, 13$ $s = 0, 1, 2, \dots$	$Q(k) \equiv 0$ $k = 3$	$Q(k) \equiv 0$ $k = 3, 5$	$Q(k) \equiv 0$ $k = 3, 5, 7$
特征值 $P(1), Q(1)$	$P(1) = 1.055$	$P(1) = 1.023$	$P(1) = 1.013$	$Q(1) = 0.792$	$Q(1) = 0.755$	$Q(1) = 0.738$
分别取 $r = R/10, R/3, R/2, \delta = 2^\circ$ 时(1)式第一项不等于零的高次余弦谐波系数与余弦基波系数的比值(均场程度)	$1.41 \times 10^{-7}$ $1.94 \times 10^{-4}$ $2.21 \times 10^{-3}$	$8.87 \times 10^{-12}$ $1.50 \times 10^{-6}$ $8.66 \times 10^{-5}$	$6.37 \times 10^{-16}$ $1.33 \times 10^{-8}$ $3.89 \times 10^{-6}$	$3.09 \times 10^{-5}$ $3.82 \times 10^{-3}$ $1.93 \times 10^{-2}$	$2.94 \times 10^{-7}$ $4.00 \times 10^{-4}$ $4.60 \times 10^{-3}$	$2.87 \times 10^{-9}$ $4.38 \times 10^{-3}$ $1.12 \times 10^{-3}$
光轴附近偏转场的近似表达式	$\varphi(x, y) \approx P(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \left( \frac{V_x}{R} x + \frac{V_y}{R} y \right)$			$\varphi(x, y) \approx Q(1) \frac{\sin \delta}{\delta} \left( \frac{V_x}{R} x + \frac{V_y}{R} y \right)$		

### 五、ECD 和 ESD 的特点比较

(1) 结构和供电的区别 由表 1 可知，极数较少的 ECD (如八极 ECD) 就能产生非常均匀的偏转场。相比较，ESD 要获得同 ECD 接近的均场程度的偏转场，则需较多的电极数(如二十极 ESD)。故 ECD 的结构较 ESD 简单。但是，由图 1 和图 2 可知，ESD 的供电比 ECD 简单，无论多少极的 ESD，供电信号总是  $\pm V_x, \pm V_y$ 。

(2) **实现均场的途径**  $n$  极 ECD 和  $n$  极 ESD 偏转空间场分布的普遍解具有相同的形式。场分布的特点全部归结在特征关系式  $P(k)$  和  $Q(k)$  上;分析特征式,即可明确场分布的规律。ECD 通过调节电极电位实现均场;ESD 通过调节电极所对的圆心角实现均场。

(3) **调节参数的求解** ECD 的均场条件((4)式)是调节参数  $a_i$ , ( $i = 1, 2, 3, \dots, n/4$ ;  $a_1 = 1$ ) 的线性方程组。方程组有唯一解,且满足:

$$1 = a_1 > a_2 > a_3 > \dots > a_{(n/4)-1} > a_{n/4} > 0.$$

ESD 的均场条件((10)式)是调节参数  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, M = (n + 4)/8$ ) 的非线性方程组。方程组有无穷组解。显然,解的选择应是  $0 < \alpha_i < \frac{\pi}{4}$ 。但是,进一步分析证明,不是对所有的电极数  $n$  和缝隙夹角  $\delta$  组成的方程组((10)式)的解都能满足这一要求。表 2 和表 3 中的例子反映了这一点。所以,对于 ESD,调节参数  $\alpha_i$  与缝隙夹角  $\delta$  的关系很大;对于 ECD,调节参数  $a_i$  与  $\delta$  无关。

表 2 二十极 ESD 均场条件的解和部分特征值  $Q(k)$

$\delta(^{\circ})$	0	1	2	3	4	5
$\alpha_1(^{\circ})$	11.67	10.67	9.67	8.67	7.67	6.67
$\alpha_2(^{\circ})$	23.64	21.64	19.64	17.64	15.64	13.64
$\alpha_3(^{\circ})$	9.68	7.68	5.68	3.68	1.68	-0.32
$Q(1)$	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
$Q(3), Q(5)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$Q(7)$	-1.57	-1.57	-1.57	-1.57	-1.57	-1.57
$Q(9)$	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31
$Q(11)$	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
$Q(13)$	-0.33	-0.33	-0.33	-0.33	-0.33	-0.33
.....	...	...	...	...	...	...

表 3 二十八极 ESD 均场条件的解和部分特征值  $Q(k)$

$\delta(^{\circ})$	0	1	2	3	4
$\alpha_1(^{\circ})$	2.38	1.38	0.38	-0.62	-1.62
$\alpha_2(^{\circ})$	23.3	21.3	19.3	17.3	15.3
$\alpha_3(^{\circ})$	14.0	12.0	9.98	7.98	5.98
$\alpha_4(^{\circ})$	5.38	3.38	1.38	-0.61	-2.62
$Q(1)$	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
$Q(3), Q(5), Q(7)$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$Q(9)$	-1.94	-1.94	-1.94	-1.94	-1.94
$Q(11)$	-4.26	-4.26	-4.26	-4.26	-4.26
$Q(13)$	3.44	3.44	3.44	3.44	3.44
...	...	...	...	...	...

(4) **缝隙夹角对场分布的影响** 在 ECD 里,特征式  $P(k)$  与缝隙夹角  $\delta$  无关。在 ESD 里,特征式  $Q(k)$  与缝隙夹角  $\delta$  有关。但是,实例计算表明,通过均场条件(10)式选择调节参数  $\alpha_i$  后,特征式  $Q(k)$  与  $\delta$  也无关,表 2 和表 3 中的例子反映了这个结论。对

于十二极 ESD, 如果把表 1 的  $\alpha_1 = 25^\circ - \delta, \alpha_2 = 20^\circ - 2\delta$  代入 (9) 式, 可得:

$$Q(k) = \frac{4}{\pi} (\sin 65^\circ k - \sin 45^\circ k + \sin 25^\circ k).$$

可见,  $Q(k)$  与  $\delta$  也无关. 由此可见, 缝隙夹角  $\delta$  对 ECD 和 ESD 场分布的影响是一样的(参见 (1) 式).

**(5) 均场程度的优劣** 在 ECD 里, 存在特征式  $P(k)$  的递推关系; 在 ESD 里, 不存在特征式  $Q(k)$  的递推关系. 所以, 通过均场条件选择调节参数后, ECD 等于零的高次谐波项比 ESD 等于零的高次谐波项多得多. 因此, 前者的均场程度比后者好.

## 六、结 束 语

从推导两种形式的多极静偏器 ECD 和 ESD 在“无穷长”情况下场分布的普遍解出发, 提出多极静偏器获得均匀偏转场的方法. 由这种方法求得的均场调节参数值与文献 [7] 给出的数据(八极 ECD, 十二、二十极 ESD) 相同. 但文献 [7] 既没有考虑电极缝隙夹角的影响, 也没有分析偏转场分布的规律, 更没有给出多极静偏器场分布普遍解的结论. 本文解决了这些问题. 就实用而言, 有表 1、表 2 和表 3 中的数据 and 公式可供选用.

**附录 I** 文中假设图 1 所示的  $n$  极 ECD 和图 2 所示的  $n$  极 ESD 电极缝隙之间的电位变化是线性的, 故边界电位分布  $\varphi(R, \theta)$  在  $\theta \in [-\pi, \pi]$  中是确定的. 在偏转空间里, 拉普拉斯方程  $\nabla^2 \varphi(r, \theta) = 0$  的通解为:

$$\varphi(r, \theta) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} r^k (A_k \cos k\theta + B_k \sin k\theta), \quad (\text{I-1})$$

其中

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(R, \theta) d\theta, \\ A_k &= \frac{1}{\pi R^k} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(R, \theta) \cos k\theta d\theta, \\ B_k &= \frac{1}{\pi R^k} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(R, \theta) \sin k\theta d\theta. \end{aligned} \right\} \quad (\text{I-2})$$

由于图 1 和图 2 的边界条件满足  $\varphi(0, \theta) = 0$  和  $\varphi(R, \theta) = -\varphi(-R, \theta)$ , 所以, (I-1) 式中  $A_0 \equiv 0$ , 且  $k$  只能取奇数, 即  $k = 1, 3, 5, \dots$ .

当图 1 和图 2 的偏转信号  $V_x \neq 0, V_y = 0$  时, (I-2) 式  $B_k \equiv 0 (k = 1, 3, 5, \dots)$ . 这时 (I-1) 式的解为:

$$\varphi_x(r, \theta) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k r^k \cos k\theta, \quad (\text{I-3})$$

其中

$$A_k = \frac{1}{\pi R^k} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi_x(R, \theta) \cos k\theta d\theta$$

$$= \frac{4}{\pi R^k} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \varphi_x(R, \theta) \cos k\theta d\theta. \quad (I-4)$$

由于图 I-1 所示的  $n$  极 ECD, (I-4) 式中,  $\varphi_x(R, \theta)$  在  $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$  的分布如图 I-1 所示. 由图可见, 下列关系成立.

$$\left. \begin{aligned} \theta_i &= (i-1)(2\pi/n) + \delta, \theta'_i = i(2\pi/n) - \delta, \\ \theta_{i+1} &= i(2\pi/n) + \delta, i = 1, 2, 3, \dots, n/4. \end{aligned} \right\} \quad (I-5)$$

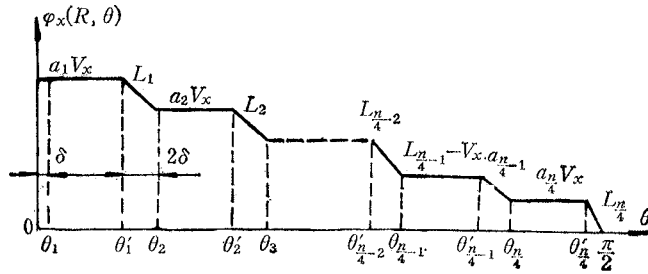


图 I-1  $n$  极 ECD 的边界电位分布  $\varphi_x(R, \theta)$

斜线  $L_i$  的方程为:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{xi}(R, \theta) &= V_x \frac{a_{i+1} - a_i}{2\delta} \left( \theta - i \frac{2\pi}{n} + \delta \right) + a_i V_x, \\ \theta'_i &\leq \theta \leq \theta_{i+1}, i = 1, 2, 3, \dots, \frac{n}{4} - 1. \end{aligned} \right\} \quad (I-6)$$

斜线  $L_{n/4}$  的方程为:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{x(n/4)}(R, \theta) &= a_{n/4} V_x - \frac{a_{n/4} V_x}{\delta} \left( \theta + \delta - \frac{\pi}{2} \right), \\ \theta'_{n/4} &\leq \theta \leq \frac{\pi}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (I-7)$$

因此, (I-4) 式的积分为:

$$\begin{aligned} A_k &= \frac{4}{\pi R^k} \left\{ \int_0^{\delta} a_1 V_x \cos k\theta d\theta + \sum_{i=1}^{n/4} \int_{\theta'_i}^{\theta_{i+1}} a_i V_x \cos k\theta d\theta \right. \\ &\quad + \sum_{i=1}^{n/4-1} \int_{\theta'_i}^{\theta_{i+1}} \left[ V_x \frac{a_{i+1} - a_i}{2\delta} \left( \theta - i \frac{2\pi}{n} + \delta \right) + a_i V_x \right] \cos k\theta d\theta \\ &\quad \left. + \int_{\theta'_{n/4}}^{\pi/2} \left[ a_{n/4} V_x - \frac{a_{n/4} V_x}{\delta} \left( \theta + \delta - \frac{\pi}{2} \right) \right] \cos k\theta d\theta \right\} \\ &= \frac{8V_x}{\pi k R^k} \sin \frac{k\pi}{n} \frac{\sin k\delta}{k\delta} \sum_{i=1}^{n/4} a_i \cos \frac{k\pi}{n} (2i-1), \end{aligned} \quad (I-8)$$

(I-8) 式中,  $n = 8, 12, 16, \dots$ ;  $k = 1, 3, 5, \dots$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, n/4$ .

同理, 当图 1 和图 2 的偏转信号  $V_x = 0, V_y \neq 0$  时, (I-2) 式  $A_k \equiv 0$  ( $k = 1, 3, 5, \dots$ ). 这时 (I-1) 式的解为:



$$\varphi_y(r, \theta) = \sum_{k=1}^{\infty} B_k r^k \sin k\theta, \quad (I-9)$$

其中

$$B_k = \frac{1}{\pi R^k} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi_y(R, \theta) \sin k\theta d\theta. \quad (I-10)$$

对于图 1 所示的  $n$  极 ECD, (I-10) 的积分为:

$$B_k = \frac{8V_y}{\pi k R^k} \sin \frac{\pi}{2} k \sin \frac{k\pi}{n} \cdot \frac{\sin k\delta}{k\delta} \sum_{i=1}^{n/4} a_i \cos \frac{k\pi}{n} (2i-1), \quad (I-11)$$

式中,  $n = 8, 12, 16, \dots$ ;  $k = 1, 3, 5, \dots$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, n/4$ .

因此, 当图 1 的  $V_x \approx 0, V_y \approx 0$  时,  $\varphi(r, \theta) = \varphi_x(r, \theta) + \varphi_y(r, \theta)$ , 即成为 (1) 式和 (2) 式.

$$\begin{aligned} \text{附录 II } P(k+sn) &= \frac{8}{\pi} \sin \left( \frac{k\pi + sn\pi}{n} \right) \sum_{i=1}^{n/4} a_i \cos \left[ \frac{k\pi + sn\pi}{n} \cdot (2i-1) \right] \\ &= \frac{8}{\pi} \cos s\pi \sin \frac{k\pi}{n} \sum_{i=1}^{n/4} a_i \cos s\pi(2i-1) \cos \frac{k\pi}{n} (2i-1) \\ &= \frac{8}{\pi} \sin \frac{k\pi}{n} \sum_{i=1}^{n/4} a_i \cos \frac{k\pi}{n} (2i-1) = P(k). \end{aligned}$$

同理可证  $P(n-k) = -P(k)$ .

**附录 III** 采用类似附录 I 的分析和计算方法, 在 (I-4) 和 (I-10) 式中代入相应的  $n$  极 ESD 的边界电位分布式, 经积分整理便可获得文中结论.

### 参 考 文 献

- [1] E. Goto, et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, **B1**(1983), 1289.
- [2] T. Hosokawa, et al., *ibid.*, **B1**(1983), 1293.
- [3] M. Idesawa, et al., *ibid.*, **B1**(1983), 1322.
- [4] J. C. Eidson, et al., *ibid.*, **19**(1981), 932.
- [5] S. Moriya, et al., *ibid.*, **B1**(1983), 990.
- [6] G. Owen, et al., *ibid.*, **19**(1981), 1064.
- [7] R. G. E. Hutter, In *advances in Image Pickup and Display*, Vol. 1, p. 202, Edited by B. Kazan, 1974.

## MULTIPOLE ELECTROSTATIC DEFLECTORS FOR OBTAINING UNIFORM DEFLECTION FIELD

Jiang Xinrong Na Zhaofeng

(Institute of Electrical Engineering, Academia Sinica)

The general field solutions are obtained for two kinds of infinitely long multipole electrostatic deflectors. A method is given to obtain uniform deflection field near optical axis. Having calculated six forms of the deflectors, the concerned formulas and data are given. The relationship and difference between the two kinds of deflectors are analysed.