

光导探测器芯片的电容公式

许生龙

(昆明物理研究所, 云南, 昆明)

摘要——导出了光导探测器芯片的电容计算公式, 并发现电容 C 与欧姆电阻 R 在数值上存在反比关系。

关键词——光导探测器, 电容。

在文献[1]中, 我们由 $V-I$ 关系求得图 1 所示芯片的欧姆电阻(非功率电阻)为

$$R = \frac{aC}{2\sigma b \sum_{K=0}^{\infty} \frac{\sin \alpha_K C}{\alpha_K^2} \tanh(\alpha_K h)}, \quad (1)$$

其中
$$\alpha_K = \left(K + \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{a}. \quad K=0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

芯片内部的电场强度

$$\mathbf{E} = \frac{2V_0}{ac} \sum_{K=0}^{\infty} D_K [-\cos \alpha_K x \operatorname{ch} \alpha_K (h-z) \mathbf{i} + \sin \alpha_K x \operatorname{sh} \alpha_K (h-z) \mathbf{k}], \quad (3)$$

其中
$$D_K = \frac{\sin \alpha_K C}{\alpha_K \operatorname{ch}(\alpha_K h)}. \quad (4)$$

式(3)中分别令 $x = \pm a$, $z = h$, 可知除两个电极之外, 在芯片的所有表面上, 电场强度的法向分量 E_n 都取零值。图 1 为 $E_z|_{z=0}$ 分量的分布图, 由图可见 $E_z|_{z=0}$ 在表面上的分布是不均匀的, 在光敏面上取零值, 而在两个电极上, 又主要富集在与光敏面相连接的一端(参看图 1)。在芯片内部的对称面 $x=0$ 上 E_y 、 E_z 分量消失, 全部 E_x 与对称面垂直。

我们将电压差 $2V_0$ 理解为由于电极上分别带有正负电荷。因此, 其电力线的空间分布就应分为两部分, 一部分电力线穿透芯片内部, 另一部分则弥漫于芯片外部空间(参看图 2)。

我们在忽略芯片边界效应的前提下, 来计算外部空间的电场。设 $\rho(\xi, \eta)$ 是电极上点 (ξ, η) 处的电荷面密度, 很容易求得芯片外部空间中的电场

$$\mathbf{E} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iint_{-b}^b \int_c^a \frac{[(x-\xi)\mathbf{i} + (y-\eta)\mathbf{j} + z\mathbf{k}] \rho(\xi, \eta) d\xi d\eta}{[(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2]^{3/2}}$$

$$+ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-b}^b \int_{-a}^a \frac{[(x+\xi)\mathbf{i} + (y-\eta)\mathbf{j} + z\mathbf{k}] \rho(\xi, \eta) d\xi d\eta}{[(x+\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2]^{3/2}} \quad (5)$$

式(5)表明在 $z \rightarrow 0$ 时, 有 $E_z \rightarrow 0$. 这就意味着, 在极其靠近电极的小区域内, 电场强度 E 由空间矢量蜕化为与电极平面重合的平面矢量. 因此, 发源于电极的电力线是用以电极相切的方式离开电极的(参看图 2).

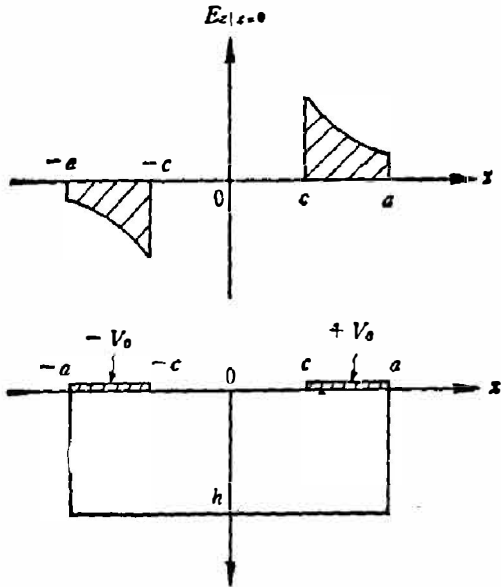


图 1 芯片的结构及芯片内电场的 z 分量场强 $E_z|_{z=0}$ 沿表面的分布

Fig. 1 The wafer structure and the z component distribution of electric field strength in the wafer along the surface.

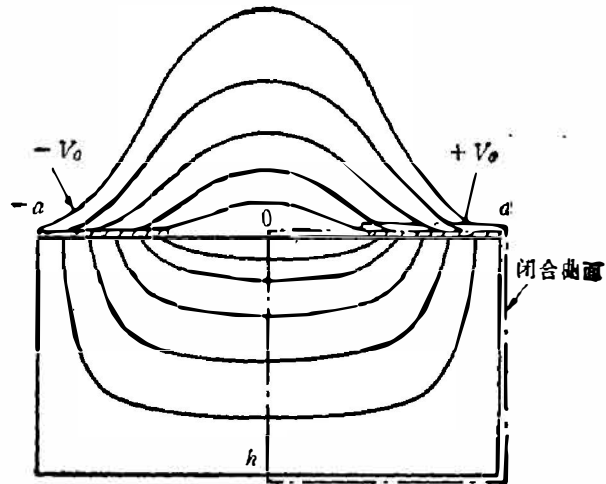


图 2 电力线在芯片内部及外部的分布情况

Fig. 2 The distribution of electric lines inside and outside the wafer.

下面我们来考虑电通量 Φ , 根据奥斯特-高斯定律, 有

$$\Phi_s = \oiint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = \oiint E_n ds = \frac{\sum q_i}{\epsilon_0} \quad (6)$$

我们将芯片从对称面 $x=0$ 处剖开, 考虑右边部分, 并选择外表面为闭合曲面. 则由前面的分析得知, 除了对称面之外, 在其他 5 个表面上, 电场强度的法向分量皆为零. 注意到对称面的外法向量是 $-\mathbf{i}$, 则式(6)变为

$$\Phi_s = - \int_{-b}^b dy \int_0^h E_x|_{x=0} dz = \frac{\oiint dq}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (7)$$

即

$$\frac{4bV_0}{ac} \sum_{k=0}^{\infty} \int_0^h D_K \operatorname{ch} \alpha_K (h-z) dz = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (8)$$

$$2V_0 \frac{2b}{ac} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin \alpha_K c}{\alpha_K^2} \tanh(\alpha_K h) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

由此可见, 电极带的电量 Q 与电压差 $2V_0$ 成正比, 而比例系数 $C = Q/2V_0$ 则是与 V_0, Q 无关的常数. 因此可得

$$C = \frac{2b\varepsilon_0}{ac} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(\alpha_k \theta)}{\alpha_k^2} \tanh(\alpha_k h), \quad (9)$$

这就是我们所要寻求的芯片的电容公式。注意到欧姆电阻 R 的表达式(1), 则又有

$$C = \frac{\varepsilon_0}{\sigma R}. \quad (10)$$

也就是说, 芯片的欧姆电阻 R 与电容 C 在数值上成反比关系。对于同时具备 σ 及 ε_0 特性的某些半导体材料, 式(10)意味着图 1 所示的芯片既具有导电能力又具有贮电能力。这一对矛盾的性质在同一块芯片上同时存在这一事实表明: 既没有纯粹的电阻, 也没有纯粹的电容。任何一块芯片都同时具备导电和贮电双重性质, 只是其表现程度不同而已。我们在研究其中一种性质时应注意另一种性质的影响。

致谢——感谢刘丽岩、何丹、尹敏和朱惜辰同志的帮助。

参 考 文 献

- [1] 许生龙、冯文清, 红外研究, 5(1986), 1: 69.
- [2] 许生龙 红外研究, 5(1986), 6: 465~468.
- [3] 许生龙 红外研究, 7A(1988), 1: 22~30.
- [4] 舒泽、刘丽岩、许生龙, 红外与激光技术, (1985), 2: 15.
- [5] Kolodny A and Kidron I, *Infrared Phys.*, 22(1982), 9~23.

A FORMULA FOR CAPACITANCE OF PHOTOCONDUCTIVE DETECTOR WAFER

XU SHENLONG

(Kunming Institute of Physics, Kunming, Yunnan, China)

ABSTRACT

The calculation formula for the capacitance of the photoconductive detector wafer is derived. It is found that the capacitance C is inversely proportional to the ohmic resistance R .