

文章编号:1007-2780(2009)02-0204-06

几种电流型 AM OLED 像素电路及其电流缩放比的分析

王龙彦^{1,2}, 王中健^{1,2}, 马仙梅^{1,2}, 付国柱¹, 荆 海¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 北方液晶工程研究开发中心
吉林 长春 130031, E-mail: semicmos@gmail.com;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 分析了 4 种典型的电流型 AM OLED 像素驱动电路的工作原理, 从中总结出了补偿阈值电压漂移的方法——自动调节存储电容的电压以保证电流不变。着重提出了电流缩放比的定义, 对传统结构、电流镜结构、分压结构和电容耦合结构这 4 种电流型 AM OLED 像素驱动电路的电流缩放比进行了比较和分析。在这 4 种电路中, 电流缩放比依次增大, 显示出电流型像素电路在解决电容充电时间问题上的进步与完善。

关 键 词: 有源矩阵 OLED; 电流型像素电路; 薄膜晶体管; 阈值电压漂移; 电流缩放比
中图分类号: TN304.5; TN431.2 **文献标识码:** A

1 引 言

有源矩阵有机电致发光显示(AM OLED)具有高对比度、高亮度、宽视角、快速响应以及低功耗等优点, 近年来倍受人们的关注并逐渐成为一代新兴的平板显示技术^[1,2]。与此同时, 液晶显示(LCD)中发展起来的非晶硅薄膜晶体管(a-Si:H TFT)以及多晶硅薄膜晶体管(p-Si TFT)技术也为 AM OLED 的高分辨率和大面积显示提供了解决方案^[3]。OLED 的亮度与通过它的驱动电流成正比, 所以像素驱动电路必须在整个帧周期为其提供持续稳定的驱动电流^[4]。就理想情况而言, 2-TFT 结构就足以完成对 OLED 像素的驱动^[5]。但由于 a-Si:H TFT 存在阈值电压漂移问题, 而准分子激光晶化的 p-Si TFT 又因晶界问题导致阈值电压不均^{—[6-10]}, 所以 AM OLED 只能采取更为复杂的像素驱动电路来解决发光亮度的不均匀性问题。为此, 研究人员已经提出了一系列的电路补偿方案, 主要可分为两类: 电压控制型驱动电路^[6-8]和电流控制型驱动电路^[9,10]。

OLED 工作时, 其发光材料存在老化现象, 导致器件的开启电压随工作时间的增加而升高(典型值为 0.2 mV/h)^[11]。这样, 在单元像素中与 n

沟道 TFT 源极相连的 OLED 阳极电势也相应提高。对于电压型驱动电路, 流过 OLED 的电流将会减小(驱动 TFT 的栅源电压减小)^[12]。另外, 由于 TFT 转移特性的非线性关系, 较小的输入电压变化可以导致较大的输出电流变化, 这就给精确的灰度调节带来了困难^[13]。作为对比, 电流型驱动电路则不但可以补偿 TFT 的阈值电压漂移问题, 而且只要驱动管 TFT 工作区不变化^[9], 其电流也不会受 OLED 阳极电势的影响。另外, 输入输出的线性关系也便于对灰度进行调节。

本文介绍了现有的 4 种典型的电流型驱动电路的工作原理和输入输出关系, 对它们补偿阈值电压漂移和降低电容充电时间的方法进行了分析和讨论, 这些分析将有助于对电流型 AM OLED 像素驱动电路的设计和研究。

2 典型的 4 种电流型 AM OLED 像素驱动电路

2.1 传统的电流型驱动电路

图 1 为一种最先提出的电流型电路^[14]的原理图与驱动时序, 其工作原理如下:

当 SELECT 电压将 T_1 和 T_3 开启时, V_{GP} 将 T_4 关闭, 像素电流由 I_{DATA} 提供, 同时 C_1 充电; T_1

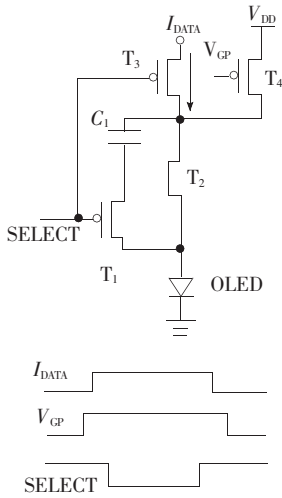


图 1 传统的电流型像素电路的原理图与驱动时序
Fig.1 Schematic and timing diagram of traditional current programmed pixel circuit

和 T_3 关闭时, T_4 开启, 由于 C_1 上存储的电压即 T_2 的栅源电压没有发生变化, 所以工作在饱和区的 T_2 为 OLED 提供的电流 I_{OLED} 在理论上等于 I_{DATA} , 即此时像素被连接到 V_{DD} 发光。由于驱动电流很小, 一个行选择时间只能驱动一行像素, 存储电容的充电时间问题成为这一电路的主要缺陷。所以对于行选择时间较长, 分辨率较低的显示, 这一电路还能胜任; 但对 VGA 显示或更高的分辨率, 长的充电时间会使像素不能正常工作。

2.2 电流镜结构的电流型驱动电路

为了降低电流型驱动电路的电容充电时间, 人们又提出电流镜结构的像素电路^[15], 其原理图如图 2 所示。当 V_{SELECT} 处于高电平时, SW_1 、 SW_2 导通, I_{DATA} 通过 SW_1 对电容 C_{pixel} 充电。电容 C_{pixel} 两端电压达到一定值时, 整个 I_{DATA} 通过 SW_2 管流到 SW_3 管。由于 SW_3 管和 SW_4 管的栅极电

压相等, 根据电流镜像原理, 流过 OLED 的电流为:

$$I_{OLED} = K_{DRIVE}/K_{REF} \times I_{DATA} \quad (1)$$

其中 $K = \mu C_{OX} \frac{W}{L}$, 这里 μ 为场效应迁移率, C_{OX} 为单位面积的绝缘层电容, W 和 L 别为 TFT 的沟道宽度和长度。

对 REF 和 DRIVE 两管, 选取相同的沟道长度时,

$$I_{OLED} = W_{DRIVE}/W_{REF} \times I_{DATA} \quad (2)$$

V_{SELECT} 为低电平时, SW_1 、 SW_2 截止, 由于 C_{pixel} 存储的电压不变, 驱动管仍工作在饱和区, V_{DD} 为 OLED 提供与选通时相等的电流。可见, 如果系数 $W_{DEIVE}/W_{REF} < 1$, 那么与传统的电流型电路相比, 电流镜结构需要较大的输入电流 I_{DATA} 来提供相等的 I_{OLED} , 较大的输入电流会降低充电时间, 从而可以提高显示的分辨率。

2.3 分压结构的电流型驱动电路

图 3 为另一种可以减小电容充电时间的电路原理图^[16], 这一电路由 4 个 p-Si TFT 和 1 个电容构成。制造中采用一定技术使 T_3 与 T_4 管的阈值电压与载流子迁移率分别相等。电路工作原理如下: 扫描线选中时, T_1 、 T_2 开启, T_4 关闭 ($V_{GS,T4} = 0$), 数据电流 I_{DATA} 通过 V_{DD} 、 T_3 、 T_1 流出。同时 C_{STG} 上存储的电压 V_A 由式(3)决定:

$$I_{DATA} = \frac{1}{2} K_3 (V_A - V_{DD} - V_{TH})^2 \quad (3)$$

扫描过后, V_{SCAN} 变为高电压, T_1 、 T_2 关闭, T_3 工作在线性区, T_4 工作在饱和区:

$$I_{OLED} = I_3 = K_3 [(V_A - V_{DD} - V_{TH}) \times (V_B - V_{DD}) - \frac{1}{2} (V_B - V_{DD})^2] \quad (4)$$

$$I_{OLED} = I_4 = \frac{1}{2} K_4 (V_A - V_B - V_{TH})^2 \quad (5)$$

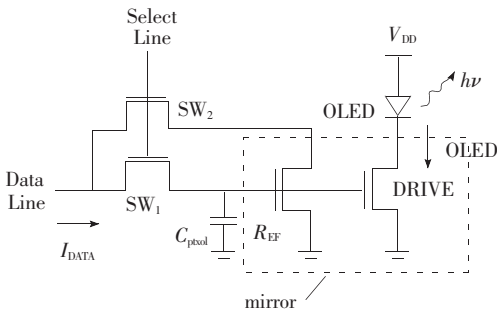


图 2 电流镜结构的电流型像素电路
Fig.2 Current programmed pixel circuit with a current mirror structure

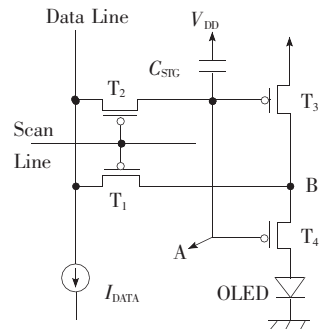


图 3 分压结构的电流型像素电路
Fig.3 Current programmed pixel circuit with a voltage distributed structure

由式(3)、(4)、(5)可以得到:

$$I_{\text{OLED}} = \frac{K_4}{K_3 + K_4} I_{\text{DATA}} \tag{6}$$

这个电路不但有很好的线性输出,而且与电流镜结构相比,分压式电路有一个更小的系数,它可以更有效地降低充电时间。

2.4 电容耦合结构的电流型驱动电路

图 4 为电容耦合结构的电流型驱动电路的原理图^[17]。在开态时,扫描线信号 V_{SCAN} 为高电压, T_1 、 T_2 开启,数据电流 I_{DATA} 通过 T_1 和 T_3 流入 OLED(实线),同时为 T_3 栅极(节点 B)充电。控制信号 V_{CTRL} 将 T_4 关闭以保证没有电流流过 T_4 。此时 OLED 的电流 $I_{\text{OLED-ON}}$ 应等于 I_{DATA} 。当像素由开态转为关态时, V_{SCAN} 将 T_1 和 T_2 关闭,同时 V_{CTRL} 将 T_4 开启。在 C_{ST2} 和 C_{ST1} 的级联结构中, V_{SCAN} 由高电压变为零时,由电容的馈通效应, $V_{\text{B-ON}}$ 会降至 $V_{\text{B-OFF}}$,根据电荷守恒定律可得:

$$V_{\text{B-OFF}} = V_{\text{B-ON}} - \Delta V_{\text{SCAN}} = \frac{C_{\text{ST2}} \parallel C_{\text{OV-T2}}}{C_{\text{ST1}} + C_{\text{ST2}} \parallel C_{\text{OV-T2}}} \tag{7}$$

其中 $\Delta V_{\text{SCAN}} = V_{\text{SCAN-ON}} - V_{\text{SCAN-OFF}}$, $C_{\text{OV-T2}}$ 是 T_2 管的栅源/栅漏交叠电容。 $V_{\text{B-OFF}}$ 将被保存在 C_{ST1} 和 C_{ST2} 中并继续维持 T_3 管的导通。这样,在关态,一个由 $V_{\text{B-OFF}}$ 形成的比 I_{DATA} 小的电流 $I_{\text{OLED-OFF}}$ 将会通过 T_4 、 T_3 流入 OLED(图中虚线)。对比电流镜和分压结构的两种电路,可以看到,虽然这种电路输入输出不成线性关系,但它可以很好地降低电容的充电时间,而且高灰度显示是可以更省电,可以实现大尺寸、高分辨率的显示。

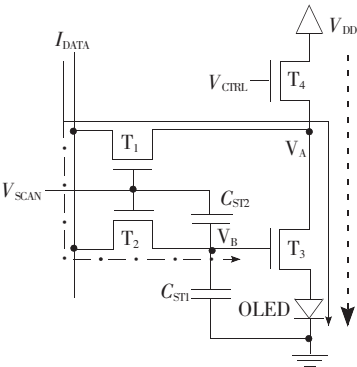


图 4 电容耦合结构的电流型像电路
Fig. 4 Current programmed pixel circuit with a coupled capacitor structure

3 阈值电压漂移和不一致现象的补偿与电流缩放比

3.1 阈值电压漂移和不一致现象的补偿

如前所述, a-Si:H TFT 存在阈值电压漂移现象^[6], p-Si TFT 虽然没有明显的阈值电压漂移,但各个 TFT 之间的阈值电压不一致^[18,19],这是 AM OLED 像素驱动需要解决的首要问题。以上 4 种电路都能很好地补偿 a-Si:H TFT 阈值电压漂移和 p-Si TFT 阈值电压不一致的现象,而且与其它的电流型像素电路一样^[9,10,20,21],它们有共同的补偿原理。如图 5 所示,在数据写入阶段,流过工作在饱和区 TFT 的数据电流为:

$$I_{\text{DATA}} = \frac{1}{2} \mu C_{\text{OX}} \frac{W}{L} (V_{\text{GS}} - V_{\text{TH}})^2 \tag{8}$$

如果 TFT 的阈值电压漂移,其栅电压 V_{G} 将被调节来确保 I_{DATA} 不变。也就是说,每个数据写入阶段,存储在 C_{s} 上的电势总是保证 I_{DATA} 在同一值而与 TFT 的阈值电压无关。在一个很小的帧周期内,数据写入之后的 OLED 发光阶段, TFT 的阈值电压对数据写入阶段的漂移可以忽略, OLED 按照像素关态时各电路为其提供的电流工作。这些可认为是电流型像素电路补偿阈值电压共通的基本原理,同时可作为电流型电路设计的参考。

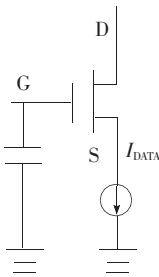


图 5 电流型像素电路中的一般结构
Fig. 5 Common structure in current programmed pixel circuits

3.2 电流缩放比

定义输入电流 I_{DATA} 与输出电流 I_{OLED} 的比值为电流缩放比 $R = I_{\text{DATA}} / I_{\text{OLED}}$ 。通过对 R 值的比较,我们可以更好地研究传统结构、电流镜结构、分压结构和电容耦合结构这 4 种电流型 AM OLED 像素驱动电路在解决电容充电时间方面的进步。

图 1 中, $R=1$,即输入与输出相等。显示灰度越低,要求的电流就会越小,则电容的充电时间就会越长^[22],这个结果是不希望得到的。相比之下,电流镜和分压式结构则可有效地降低充电时间。图 2 中, $R=W_{\text{REF}}/W_{\text{DRIVE}}$,如果设计时 $W_{\text{REF}} > W_{\text{DRIVE}}$,例如 $W_{\text{REF}}/W_{\text{DRIVE}}=10$,那么要实现某一低灰度显示所需的电流为 I 时,可以用 $10I$ 的输入电流为像素充电,这就大幅降低了电容的充电时间。图 3 中, $R=(K_3+K_4)/K_4$,这是一个更大的电流缩放比,可以更有效地减少充电时间。由于电流缩放比固定,电流镜结构和分压结构在高灰度显示时,需要很大的输入电流,从而功耗较大。图 4 中, $R=I_{\text{OLED-ON}}/I_{\text{OLED-OFF}}$ 可变,并与 C_{ST2}

和 ΔV_{SCAN} 的值有关, R 随着 C_{ST2} 的增大而减小。这样,当一个大电流被用来为像素充电并减小充电时间时,可以得到一个小的驱动电流来实现低灰度的显示。当电流 I_{DATA} 增大时,B 点电压的下降量有限,与 $V_{\text{B-ON}}$ 相比很小,所以电流的下降也很小,使得 R 变小,从而实现高灰度的显示。与传统的电流驱动模式相比,可变的电流缩放比不但可以降低电容的充电时间,而且整个显示灰度内,有较小的功率消耗。而电流镜结构和分压式结构虽然能使电流缩放,但 R 恒定,功率消耗较大^[23]。从表 1 中我们可以清晰的看到这几种电路电流缩放比的改进。实际应用中,可根据显示尺寸和分辨率进行相应的选择。

表 1 4 种电流型 AM OLED 像素电路的比较

	传统结构	电流镜结构	分压结构	电容耦合结构
电流缩放比(R)	1(小)	$W_{\text{REF}}/W_{\text{DRIVE}}$ (大)	$(K_3+K_4)/K_4$ (更大)	$I_{\text{OLED-ON}}/I_{\text{OLED-OFF}}$ (可变)
电容充电时间	长	短	短	短
电路特点	线性输出	线性输出, R 固定,高灰度显示时功耗较大	线性输出, R 固定,高灰度显示时功耗较大	非线性输出,低灰度时 R 值大,高灰度时 R 值小,电路功耗较小
应用	低分辨率显示	中分辨率显示	中、高分辨率显示	高分辨率显示

4 结 论

像素驱动是 AM OLED 显示中重要的技术。本文详细分析了 4 种典型的电流型 AM OLED 像素驱动电路的工作原理,总结出了电流型像素电路补偿阈值电压变化的基本方法,即在每个数据写入阶段,自动调节存储电容的电压,以保持电

流不变,从而补偿阈值电压变化对 OLED 亮度的影响。对传统结构、电流镜结构、分压结构和电容耦合结构这 4 种典型的电流型 AM OLED 像素驱动电路的电流缩放比 R 进行了比较和分析,这些分析有助于对电流型 AMOLED 像素驱动电路的设计和研究。

参 考 文 献:

[1] 黄锡珉. 有源矩阵 OLED [J]. 液晶与显示, 2003, 18(3):157-160.
[2] 李文连. 机电致发光显示屏技术 [J]. 液晶与显示, 2003, 17(4):259-264.
[3] 李云飞,王永生,张晓龙,等. a-Si:H TFT OLED 驱动电路中存储电容对显示性能的影响 [J]. 液晶与显示, 2008, 23(5):572-577.
[4] Dawson R M A, Shen Z, Furst D A, *et al.* Design of an improved pixel for a poly silicon active-matrix organic LED display [C]//*SID'98 Digest*, San Francisco, CA:SID, 1998:11-14.
[5] Stewart M, Howell R S, Pires L, *et al.* Polysilicon VGA active matrix OLED displays-technology and performance [C]//*IEDM Tech. Dig.*, San Francisco, CA:IEEE,1998:871-874.
[6] Nathan A, Kumar A, Sakariya K, *et al.* Amorphous silicon thin film transistor circuit integration for organic LED displays on glass and plastic [J]. *IEEE J. Solid-State Circuits*, 2003, 39(9):215-222.
[7] Goh J, Jang J, Cho K, *et al.* A new a-Si:H thin-film transistor pixel circuits for active matrix organic light-emitting

- diodes [J]. *IEEE Electron Device Lett.*, 2003, 24(9):583-585.
- [8] Jung S H, Nam W J, Han M K. A new voltage-modulated AMOLED pixel design compensating for threshold voltage variation in poly-Si TFTs [J]. *IEEE Electron Device Lett.*, 2004, 25(10):690-692.
- [9] He Y, Hattori R, Kanicki J. Current-source a-Si:H thin-film transistor circuit for active-matrix organic light-emitting displays [J]. *IEEE Electron Device Lett.*, 2000, 21(12):590-592.
- [10] He Y, Hattori R, Kanicki J. Improved a-Si:H TFT pixel electrode circuits for active-matrix organic light emitting displays [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2001, 48(7):1322-1325.
- [11] Burrow P E, Forrest S R, Zhou T X, *et al.* Operating lifetime of phosphorescent organic light emitting devices [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, 76(18):2493-2495.
- [12] 郭英英, 李荣玉, 梁宝闻, 等. AM-OLED 四管像素驱动电路特性研究 [J]. *液晶与显示*, 2008, 23(6):667-670.
- [13] Kumar A, Sakarya K, Servati P, *et al.* Design considerations for active matrix organic light emitting diode arrays [J]. *IEE Proc. Circuit Devices Syst.*, 2003, 150 (4):322-328.
- [14] Dawson R, Shen Z, Furst D A, *et al.* The impact of the transient response of organic light emitting diodes on the design of active matrix OLED displays[C]//*IEDM Tech. Dig.*, San Francisco, CA:IEEE, 1998:875-878.
- [15] Servati P, Nathan A. Functional pixel circuits for elastic AMOLED displays [J]//*Proceedings of the IEEE*, 2005, 93(7):1257-1264.
- [16] Lee J H, Nam W J, Jung S H, *et al.* A new current scaling pixel circuit for AMOLED [J]. *IEEE Electron Device Letters*, 2004, 25(5):280-282.
- [17] Lin Y C, Shieh H P, Kanicki J. A novel current-scaling a-Si:H TFTs pixel electrode circuit for AM-OLEDs [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2005, 52(6):1123-1131.
- [18] Lee J H, Nam W J, Kim B K, *et al.* A new poly-Si TFT current-mirror pixel for active matrix organic light emitting diode [J]. *IEEE Electron Device Lett.*, 2006, 27(10):830-833.
- [19] Nathan A, Chaji G R, Ashtiani S J. Driving schemes for a-Si and LTPS AMOLED displays [J]. *IEEE Journal of Display Technology*, 2005, 1(2):267-277.
- [20] Ashtiani S J, Servati P, Strikhilev D, *et al.* A 3-TFT current-programmed pixel circuit for AMOLEDs [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2005, 52(7):1514-1518.
- [21] He Y, Hattori R, Kanicki J. Four-thin film transistor pixel electrode circuits for active matrix organic light-emitting displays [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2001, 40:1199-1208.
- [22] Sambandan S, Strikhilev D, Nathan A. Device and circuit level optimization for high performance a-Si:H TFT-based AMOLED displays [J]. *IEEE J. Display Technology*, 2006, 2(1):52-59.
- [23] Yumoto A, Asano M, Hasegawa H, *et al.* Pixel-driving methods for large-sized poly-Si AM-OLED displays [C]//*Proc. Int. Display Workshop*, Tokyo, Japan:IDW, 2001:1395-1398.

Analyses of Several Current Programmed AM OLED Pixel Circuits and Their Current Scaling Ratio

WANG Long-yan^{1,2}, WANG Zhong-jian^{1,2}, MA Xian-mei^{1,2}, FU Guo-zhu¹, JING Hai¹

(1. North LC Engineering Research and Development Center, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031, China, E-mail: semicmos@gmail.com;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

Four typical current programmed AM OLED pixel circuits are analyzed in this paper, and based on these circuits, compensation method of threshold voltage shift is summarized, *i. e.* auto-adjusting

the voltage stored in the capacitor to supply a constant current. Current scaling ratio is defined, and with its increase, the current programmed AM OLED pixel circuits is improved in solving charging time of capacitor.

Key words: active-matrix OLED; current programmed pixel circuit; thin-film transistor; threshold voltage shift; current scaling ratio

作者简介:王龙彦(1983—),男,山东莒县人,硕士研究生,主要研究方向为平板显示器件与物理。

数值范围的表示法

- 1. 数值范围采用波浪号“~”。
- 2. 书写百分数范围,每个百分数后面的“%”都要重复写出。例如“10 %~20 %”不能写成“10~20 %”。
- 3. 书写用万或亿表示的数值范围,每个数值中的万或亿不得省略。例如 2 万~5 万,不能写成 2~5 万。
- 4. 书写具有相同幂次的数值范围,每个数值中的幂次都要重复写出。例如“ $3\times 10^5\sim 5\times 10^5$ ”不能写成“ $3\sim 5\times 10^5$ ”,但可以写“ $(3\sim 5)\times 10^5$ ”。
- 5. 单位相同的量值范围,前一个量值的单位可以省略,只需在后一个量值上写出。例如:“5 mm~8 mm”应写作“5~8 mm”。
- 6. 单位不完全相同的量值范围,每个量值的单位应全部写出。例如:2 h~2 h30 min(但最好改为“2~2.5 h”)。

文章编码的识读

为了便于期刊文章的检索、查询、全文信息索取和远程传递以及著作管理,凡具有文献标识码的文章均可标识一个数字化的文章编号,其中 A(理论与应用研究学术论文(包括综述报告))、B(实用性技术成果报告(科技)、理论学习与社会实践总结(社科))、C(业务指导与技术管理性文章(包括领导讲话、特约评论等))三类文章必须编号。

文章编号由期刊的国际标准刊号、出版年、期次号及文章的篇首码和页数五段共 20 位数字组成,其结构为:XXXX-XXXX(YYYY)NN-PPPP-CC,其中 XXXX-XXXX 为文章所在期刊的国际标准刊号(ISSN),YYYY 为文章所在期刊的出版年,NN 为文章所在期刊的期次,PPPP 为文章首页所在期刊页码,CC 为文章页数,“-”为连字符。该编号在全世界范围内是该文章的惟一标识。

文章编号由各编辑部给定,中文文章编号的标识为“文章编号:”或[文章编号]。如:文章编号:1007-2780(2003)02-0097-04 为发表在《液晶与显示》2003 年第 2 期第 97~100 页(共 4 页)上题为“液晶中聚合物网络的形貌研究”(作者:杨文君等)一文的文章编号。