

Οι ηλεκτρονικές συσκευές ένδειξης διαορίζονται σε δύο κατηγορίες: σε αυτές που εκπέμπουν φως και σε αυτές που δεν εκπέμπουν. Η πρώτη περιλαμβάνει τις:

- CRT (cathode ray tube) καθοδικός σωλήνας
- PDP (plasma display panel) οθόνη πλάσματος
- ELD (electroluminescent display) φωτοηλεκτρική οθόνη
- VFD (vacuum fluorescent display) οθόνη φθορισμού κενού
- LED (light emitting diode) δίοδος εκπομπής φωτός

- και η τελευταία τις,
- LCD (liquid crystal display) οθόνη υγρών κρυστάλλων
  - ECD (electrochemical display) ηλεκτροχημική οθόνη
  - EPID (electrophoretic image display) οθόνη ηλεκτροφόρησης
  - SPD (suspended particle display) οθόνη αιωρούμενων σωματιδίων
  - TBD (twisting ball display)
  - PLZT (transparent ceramics display) οθόνη διαφανών κεραμικών

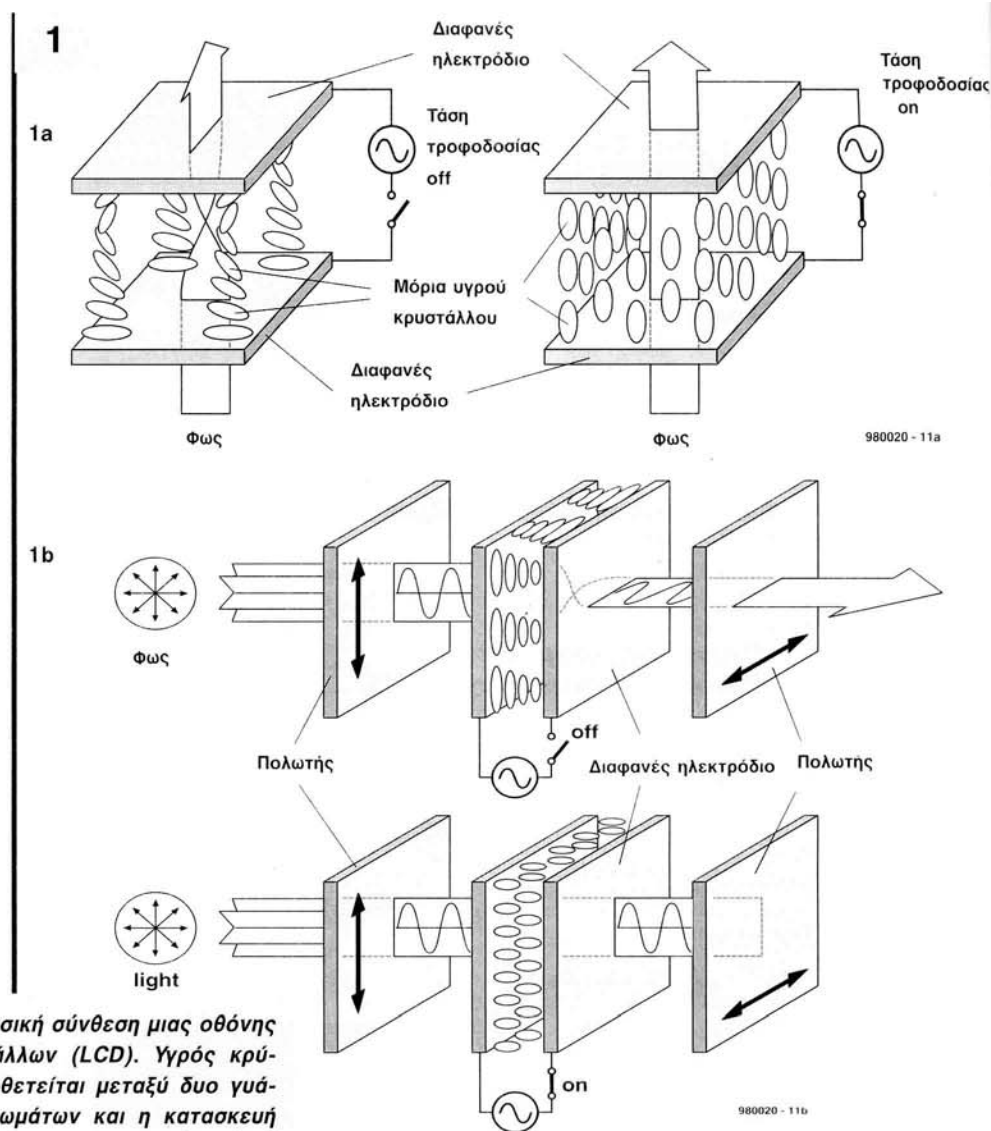
Ο καθοδικός σωλήνας CRT ανακαλύφθηκε το 1897 στη Γερμανία. Τα πρώτα ρολόγια με οθόνες LCD εμφανίστηκαν στην αγορά των Ηνωμένων Πολιτειών το 1972. Το ρολόι ECD εμφανίστηκε το 1982 στην Ιαπωνία (Seiko). Η πρώτη πειραματική τηλεόραση PDP εμφανίστηκε το 1978 στην Ιαπωνία (NHK). Η δίοδος εκπομπής μονοχρωματικού φωτός (laser) ανακαλύφθηκε το 1962 στις Ηνωμένες Πολιτείες (Nathan), ενώ η πρώτη δοκιμαστική τηλεόραση με LED παρουσιάστηκε το 1979 στην Ιαπωνία (Sanyo).

Αναμφίβολα, το μεγαλύτερο μέρος των ερευνών που έχουν σχέση με την ανάπτυξη των επιπέδων οθονών έγινε και συνεχίζει να γίνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες.

## Η αγορά

Η οθόνη καθοδικού σωλήνα CRT, που έχει και τη μεγαλύτερη ιστορία (101 χρόνια), εξακολουθεί να είναι η καλύτερη από άποψη οικονομίας και ποιότητας. Κατέχει σχεδόν το 85% της παγκόσμιας αγοράς. Το 1997, εκατοντάδες βιομηχανίες σε όλο τον κόσμο παράγαν 68 εκατομμύρια CRT, ενώ το 2001 η παραγωγή αναμένεται να φτάσει τα 85 εκατομμύρια.

Στη δεύτερη θέση είναι η οθόνη LCD που κατέχει το 10% της παγκόσμιας αγοράς. Το



**Σχήμα 1. Βασική σύνθεση μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων (LCD). Υγρός κρύσταλλος τοποθετείται μεταξύ δυο γυάλινων υποστρωμάτων και η κατασκευή ολοκληρώνεται με αεροστεγές υλικό γύρω από την περιφέρεια.**

1997, ο συγκεκριμένος τύπος κατασκευάζονταν από 30 βιομηχανίες σε όλο τον κόσμο. Το μέγεθος της διαγωνίου των περισσότερων οθονών LCD ποικίλει από 10 μέχρι 12 ίντσες (9 μέχρι 11 ίντσες θέαση). Υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής οθονών με μεγαλύτερες διαστάσεις, αλλά παράγονται σε μικρό αριθμό γιατί απαιτούν νέα μηχανήματα, τα οποία κοστίζουν. Σε συνδυασμό με το γεγονός της έκρηξης στην αγορά φορητών υπολογιστών, η ζήτηση ξεπερνά κατά πολύ την παραγωγή, ενώ οι βιομηχανίες είναι απρόθυμες να ξοδέψουν μεγάλα χρηματικά ποσά σε νέα μηχανήματα όσο συνεχίζεται αυτή η κατάσταση. Το 1997, η ζήτηση της αγοράς για αυτές τις οθόνες ήταν 6.9 εκατομμύρια, ενώ η παραγωγή ήταν μόνο 4.3 εκατομμύρια.

Παρόλα αυτά, μερικοί κατασκευαστές τροποποιούν με γοργούς ρυθμούς τις υπάρχουσες βιομηχανίες ή κατασκευάζουν νέες με σκοπό να αρχίσουν την παραγωγή οθονών 14 in (13 in θέαση) μέσα στην επόμενη χρονιά. Ωστόσο, είναι απίθανο οι τελευταίες εξελίξεις να ριζώσουν τις τιμές, κυρίως επειδή πολ-

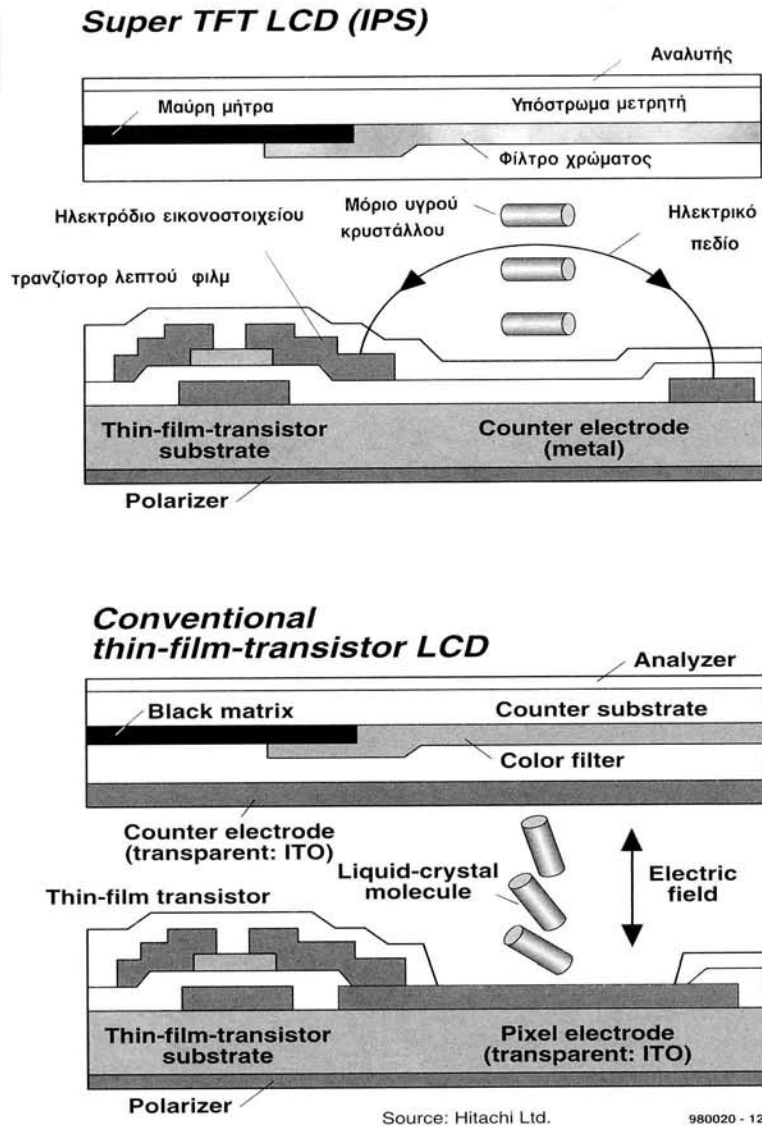
λές βιομηχανίες που παράγουν οθόνες LCD, παράγουν και CRT.

## LCD εναντίον CRT

Από την πλευρά του χρήστη, η τεχνολογία LCD πλεονεκτεί όταν τίθεται θέμα αντικατάστασης μιας παραδοσιακής CRT από οθόνη LCD, τουλάχιστον στις μικρότερες διαγωνίους. Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν δώσει σαν αποτέλεσμα καλύτερη ευκρίνεια, (σχετικά) μεγαλύτερες διαγωνίους και υψηλότερες συχνότητες (πρόσφατα μέχρι 240 MHz). Ωστόσο οι οθόνες LCD μειονεκτούν ακόμα όσον αφορά την περιορισμένη γωνία θέασης, τη περιορισμένη κλίμακα αντίθεσης και την υψηλότερη τιμή σε σχέση με τις αντίστοιχες CRT.

## Αρχές των οθονών υγρών κρυστάλλων (LCD)

Στην οθόνη υγρών κρυστάλλων, η εφαρμογή τάσης αλλάζει τον μοριακό προσανατολισμό του υγρού κρυστάλλου, με αποτέλεσμα την αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών, όπως είναι η διπλή διάθλαση, η περιστροφή



**Σχήμα 2.** Σε μια οθόνη LCD τύπου *In Plane Switching-mode (IPS)* ή *SuperTFT* η περιστροφή των μορίων του κρυστάλλου γίνεται με τη βοήθεια δύο ηλεκτροδίων τοποθετημένων στο ίδιο υπόστρωμα.

του επιπέδου πόλωσης, ο διχροϊσμός ή η διασπορά που προκαλείται από τον αναπροσανατολισμό των μορίων, η οποία τελικά μετατρέπεται σε ορατή αλλαγή.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι LCD είναι οι TFT

(thin film transistor) και οι STN (super twisted nematic). Κάθε μια από αυτές είναι παθητική οθόνη που βασίζεται στην αρχή της διαμόρφωσης του φωτός μέσα από ένα στοιχείο υγρού κρυστάλλου. Το στοιχείο αποτελείται από ένα στρώμα υγρού κρυστάλλου πάχους περίπου 10 μm τοποθετημένο μεταξύ δύο γυάλινων υποστρωμάτων πάνω στα οποία σχηματίζονται δύο διαφανή ηλεκτρόδια. Αυτά σχηματίζονται στην επιφάνεια κάθε ηλεκτροδίου που προσδίδουν ένα καθορισμένο προσανατολισμό στα μόρια του υγρού κρυστάλλου. Σε καθένα ηλεκτρόδιο, όλα τα αυλάκια έχουν την ίδια κατεύθυνση και χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν μηχανικά τα μόρια, δηλαδή τα μεγάλα μήκους μόρια ακολουθούν τα αυλά-

και (σχήματα 1a και 1b).

Λόγω των δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων των κρυστάλλων, σχεδόν εξαλείφεται η τυχαία κίνησή τους και όλα προσανατολίζονται στην ίδια κατεύθυνση. Κανονικά, η κατεύθυνση των αυλακίων στο ένα ηλεκτρόδιο σχηματίζει ορθή γωνία με αυτή των αυλακίων του άλλου ηλεκτροδίου. Στον τύπο STN, ο μοριακός άξονας του υγρού κρυστάλλου συστρέφεται συνεχώς έως 90° μεταξύ των δύο υποστρωμάτων. Επειδή το βήμα της συστρέφσης είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σύγκριση με το μήκος κύματος του ορατού φωτός, το επίπεδο πόλωσης του γραμμικά πολωμένου φωτός που προσπίπτει κάθετα σε ένα από τα υποστρώματα του ηλεκτροδίου περιστρέφεται κατά 90° λόγω της διάταξης των μορίων του υγρού κρυστάλλου, καθώς το φως περνά μέσα από το στοιχείο.

Επομένως το νηματικό (υλικό του στοιχείου του οποίου τα μόρια ή άτομα προσανατολίζονται σε παράλληλες γραμμές) όταν τοποθετηθεί ως έχει αποκόπτει το φως όταν τοποθετηθεί μεταξύ δύο παράλληλων πολωτών και επιτρέπει τη διέλευση του φωτός μεταξύ δύο ορθογώνιων πολωτών.

Όταν εφαρμόζεται τάση λίγο μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου  $U_{th}$  σε ένα συνεστραμμένο νηματικό στοιχείο, οι μοριακοί άξονες αρχίζουν να ευθυγραμμίζονται με το ηλεκτρικό πεδίο. Όταν η εφαρμοζόμενη τάση γίνει περίπου  $2U_{th}$ , η πλειοψηφία των μοριακών αξόνων έχει ευθυγραμμιστεί με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου, οπότε παύει να υφίσταται η οπτική περιστροφή των 90°. Τότε, εντελώς αντίθετα με την περίπτωση όπου δεν εφαρμόζεται τάση, μεταξύ παράλληλων πολωτών διέρχεται φως, ενώ μεταξύ ορθογώνιων πολωτών το φως αποκόπτεται. Σχήμα 1d

Η βασική λειτουργία όπως τη περιγράψαμε, απεικονίζεται στο σχήμα 1. Βασίζεται στο ηλεκτροοπτικό φαινόμενο που εμφανίζεται κατά την τοποθέτηση ενός συνεστραμμένου νηματικού στοιχείου μεταξύ δύο ορθογώνιων πολωτών. Στην περίπτωση αυτή, διέρχεται φως όταν δεν εφαρμόζεται τάση, ενώ το φως αποκόπτεται όταν εφαρμόζεται τάση. Η σχέση μεταξύ διέλευσης και αποκοπής του φωτός μεταξύ παράλληλων πολωτών είναι αντίστροφη. Έτσι, τα συνεστραμμένα νηματικά LCD δίνουν μαύρο χρώματος ένδειξη σε λευκό υπόβαθρο ή λευκή ένδειξη σε μαύρο υπόβαθρο.

Η έγχρωμη οθόνη LCD περιέχει ένα πρόσθετο έγχρωμο φίλτρο σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel). Καθένα από αυτά αποτελείται από τρεις μικροσκοπικές κουκίδες (κόκκινη, πράσινη και μπλε). Αυτό σημαίνει ότι μια έγχρωμη οθόνη LCD έχει τριπλάσιο αριθμό εικονοστοιχείων (pixel) από αυτόν που θα υπέθετε κανείς, όσον αφορά την ευκρίνεια των γραφικών.

Το υπόβαθρο σε μια οθόνη LCD είναι συνήθως μια φθορίζουσα πηγή διάχυτου φωτός τοποθετημένη στα πλάγια ή πίσω από την οθόνη. Η διάχυση εξασφαλίζει την ομοιόμορφη πρόσπτωση του φωτός πάνω στην οθόνη.

Ένα σοβαρό μειονέκτημα της οθόνης LCD είναι ότι εκπέμπει σχετικά μικρή ποσότητα φωτός: στη πράξη μόνο 3-5%. Η φωτεινή απόδοση οφείλεται κατά πρώτον στους πολωτές (50%) και κατά δεύτερον στα υπόλοιπα διαφανή στρώματα, ιδιαίτερα στη μήτρα (black matrix) (30%).

Οι κατασκευαστές αναζητούν συνεχώς τρόπους βελτίωσης της απόδοσης που είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους χρήστες φορητών υπολογιστών. Σε αυτούς τους υπολογιστές, η διάρκεια της μπαταρίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας και οποιαδήποτε βελτίωση στην απόδοση θα είναι ιδιαίτερα ευπρόσδεκτη.

Η εταιρεία 3M ανέπτυξε ένα ειδικό φύλλο πάνω στο οποίο τοποθετούνται εκατομμύρια μικρά πρίσματα. Τα πρίσματα αυτά εξασφαλίζουν ότι το μεγαλύτερο μέρος του φωτός θα προσπίπτει στις επιφάνειες υπό ορθή γωνία. Λόγω της συσσωρευμένης δράσης των πρισμάτων, η ισχύς της φωτεινής πηγής μπορεί να υποδιπλασιαστεί.

### Ενεργή ή παθητική

Οι οθόνες υγρών κρυστάλλων χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: στις φτηνές παθητικές (STN = super twisted nematic) και στις περισσότερο ακριβές ενεργητικές (TFT = thin film transistor).

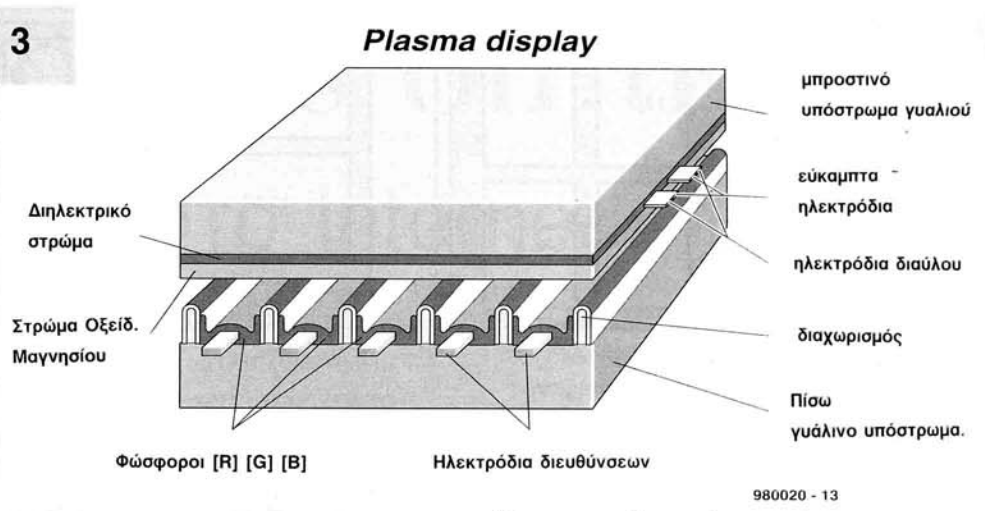
Στις συσκευές STN, ο υγρός κρύσταλλος ελέγχεται από μια διδιάστατη μήτρα αγώνων. Αυτοί οι αγωγοί από οξειδίο κασσιτέρου - ινδίου τοποθετούνται πάνω στο γυάλινο υπόστρωμα. Εφαρμόζεται τάση στη διασταύρωση των δύο αγώνων η οποία αλλάζει τον προσανατολισμό του κρυστάλλου με αποτέλεσμα τη εμφάνιση ενός εικονοστοιχείου (pixel). Η μέθοδος αυτή είναι σχετικά αργή, επειδή η μήτρα οδηγείται με βάση την αρχή της σάρωσης. Επιπλέον, οι μεταβολές του ηλεκτρικού πεδίου κατά την διάρκεια γρήγορων εναλλαγών της εικόνας (για παράδειγμα κατά την μετακίνηση κειμένου ή την κίνηση του δρομέα) προκαλούν την εμφάνιση ενοχλητικών σκιών. Η αντίθεση και ο αριθμός των χρωμάτων που μπορούν να αναπαραχθούν είναι περιορισμένοι.

Στις συσκευές TFT κάθε εικονοστοιχείο διαθέτει το δικό του τρανζίστορ (από όπου προέρχεται και το όνομά τους). Τα τρανζίστορ τοποθετούνται σε ένα από τα δύο γυάλινα υποστρώματα και μπορούν να ελεγχθούν με ακρίβεια και ταχύτητα. Αυτός ο τύπος οθόνης είναι κατάλληλος για συστήματα που απαιτούν μεγάλο φάσμα χρωμάτων και γρήγορες εναλλαγές εικόνας. Λόγω της ενίσχυσης του τρανζίστορ, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μεγαλύτερη από αυτή που επιτυγχάνεται στις παθητικές οθόνες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερη αντίθεση.

### Γωνία παρατήρησης

Ένα από τα σοβαρότερα μειονεκτήματα των οθονών LCD είναι η περιορισμένη γωνία παρατήρησης, η οποία κυμαίνεται από 15°-40°. Μεγαλύτερη γωνία παρατήρησης της οθόνης συνεπάγεται περιορισμένη αντίθεση. Αυτό γίνεται περισσότερο ενοχλητικό στην περίπτωση έγχρωμης οθόνης. Για να λυθεί το πρόβλημα, πολλοί κατασκευαστές εισήγαγαν μια καινούργια τεχνική που ονομάστηκε In Plane Switching-mode (IPS) ή Super TFT. Η τεχνική αυτή αυξάνει τη γωνία παρατήρησης σε σχεδόν 140° (εξαρτάται από τον κατασκευαστή).

Η καινούργια τεχνική έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της απλοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας. Τα δύο ηλεκτρόδια του ει-



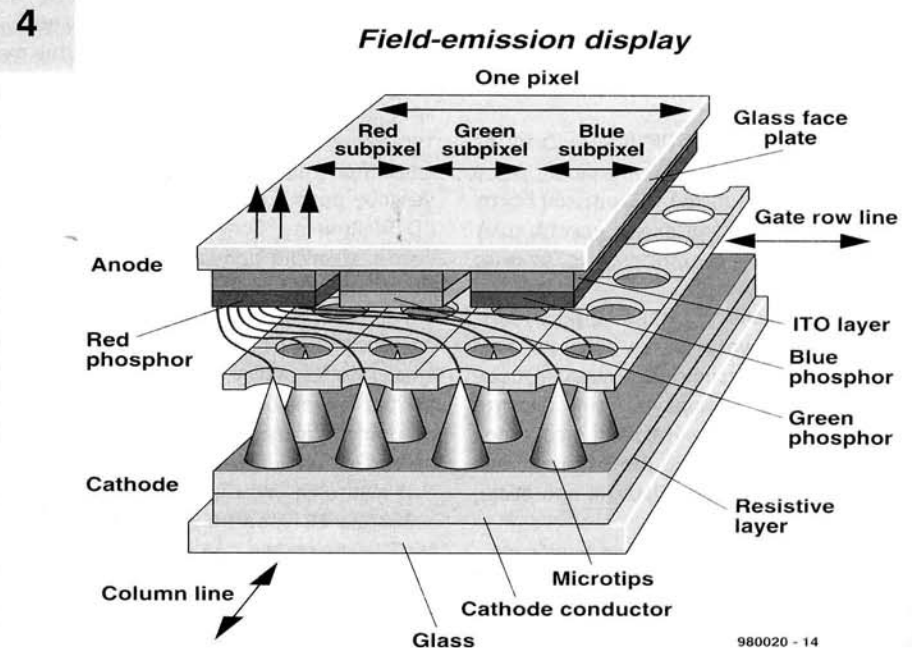
**Σχήμα 3. Η οθόνη "plasma display panel (PDP)" αποτελεί μια καλή εναλλακτική λύση για τις LCD, αλλά θα περάσει αρκετός καιρός πριν αυτός ο τύπος οθόνης γίνει ανταγωνιστικός στην αγορά.**

κονοστοιχείου τοποθετούνται στο γυάλινο υπόστρωμα μαζί με το τρανζίστορ. Συνεπώς, δεν υπάρχει πλέον διαφορά δυναμικού κατά μήκος ολόκληρης της οθόνης LCD, παρά μόνο κατά μήκος ενός εικονοστοιχείου. Η διευθέτηση φαίνεται στο σχήμα 2.

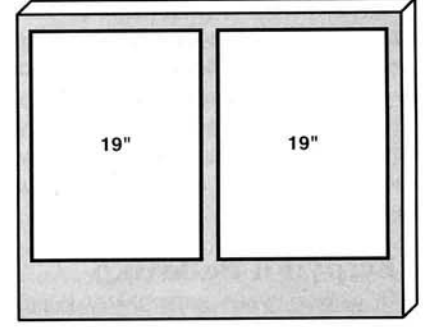
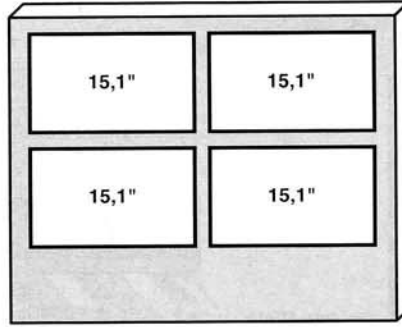
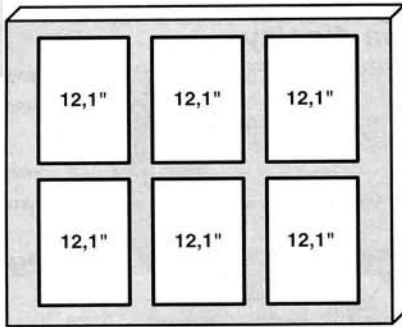
Στην κατάσταση ηρεμίας όταν δεν εφαρμόζεται τάση στο εικονοστοιχείο, τα μόρια είναι τοποθετημένα παράλληλα με τα αυλάκια των ηλεκτροδίων. Επομένως, δεν συμβαίνει περιστροφή των μορίων μέσα στον υγρό κρύσταλλο όπως γινόταν στο σχήμα 1. Οι πολωτές, που σχηματίζουν μεταξύ τους ορθή γωνία, εξασφαλίζουν ότι το φως μπλοκάρεται ακόμα και σε μεγάλη γωνία παρατήρησης, δηλαδή η οθόνη φαίνεται μαύρη.

Όταν εφαρμόζεται τάση, τα μόρια προσανατολίζονται ανάλογα με το ηλεκτρικό πεδίο, που είναι κάθετο με τον προηγούμενο προσανατολισμό των μορίων στην κατάσταση ηρεμίας. Ισχυρότερο ηλεκτρικό πεδίο επιφέρει μεγαλύτερη περιστροφή του κρυστάλλου και εκπέμπεται περισσότερο φως.

**Σχήμα 4. Στις οθόνες πεδιακής εκπομπής (field emission display, FED) ισχυρά ηλεκτρικά πεδία αποσπών ηλεκτρόνια από την κάθοδο (ενώ στον καθοδικό σωλήνα λαμβάνει χώρα θερμοϊονική εκπομπή). Τα αποσπώμενα ηλεκτρόνια διεγείρουν τα φωσφορούχα εικονοστοιχεία, τα οποία μπορεί να είναι πανομοιότυπα με αυτά που χρησιμοποιούνται στους καθοδικούς σωλήνες, με συνέπεια το οπτικό αποτέλεσμα να μοιάζει πολύ με αυτό που παράγουν οι CRT, με το πλεονέκτημα όμως της λεπτής, επίπεδης οθόνης.**



5



**Σχήμα 5.** Στην παραγωγή οθονών LCD γίνεται χρήση υλικών προκαθορισμένων διαστάσεων. Η χρήση διαφορετικών διαστάσεων έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερη απόδοση (άρα και χαμηλότερα κέρδη), επομένως θα περάσει αρκετός καιρός πριν εμφανιστούν στην αγορά οθόνες με μεγαλύτερες διαγώνιους.

**Οποιοδήποτε μέγεθος επιθυμείτε, αρκεί να είναι προκαθορισμένο**

980020 - 15

Το 1997, υπήρχαν σε ολόκληρο τον κόσμο μόνο τρεις βιομηχανίες που παρήγαγαν την τελευταία γενιά γυάλινων υποστρωμάτων για οθόνες υγρού κρυστάλλου (LCD) με διαστάσεις 550x650 mm. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5, το μέγεθος αυτό είναι ιδανικό για την παραγωγή οθονών με διαγώνιο 12 in. Η παραγωγή διαφορετικού (συγκεκριμένα μεγαλύτερου) μεγέθους δεν είναι οικονομικά βιώσιμη.

## Οθόνες PDP και FED

Δύο άλλοι σημαντικοί τύποι οθονών είναι η οθόνη πλάσματος (plasma display panel, PDP) και η οθόνη πεδιακής εκπομπής (field emission display, FED).

Η PDP πρωτοεμφανίστηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1954 (Skellet). Η πρώτη έγχρωμη τηλεόραση PDP παρουσιάστηκε το 1978 από την NHK στην Ιαπωνία. Πιο πρόσφατά, η Fujitsu στην Ιαπωνία και η Philips στην Ολλανδία συνεργάστηκαν στην ανάπτυξη μιας ευρείας οθόνης τηλεόρασης 41 ιντσών. Η σημερινή τιμή της οθόνης PDP είναι πολύ υψηλή για εμπορική εκμετάλλευση, αλλά αναμένεται πτώση της τιμής της τα επόμενα χρόνια. Όμως, προηγουμένως πρέπει να λυθούν ουσιαστικά προβλήματα που αφορούν τη δεδομένη τεχνολογία.

Η βασική διευθέτηση της οθόνης PDP φαίνεται στο σχήμα 3. Στα πιο πρόσφατα μοντέλα εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια τάση 100 V. Αναμένεται ότι η τάση αυτή θα μειωθεί στα 60 V ή ακόμα και στα 10 V στα επόμενα μοντέλα.

Η ζωή μιας οθόνης PDP υπολογίζεται σε 10000 περίπου ώρες, τιμή συγκρίσιμη με το χρόνο ζωής ενός τυπικού τηλεοπτικού δέκτη. Η εικόνα της δεν είναι ακόμα αρκετά καλή. Συχνά εμφανίζονται ενοχλητικές γκρίζες οκλίες στις κινούμενες εικόνες.

Οι οθόνες πεδιακής εκπομπής (FED) συνδυάζουν την τεχνολογία των CRT με αυτή των LCD. Η εικόνα τους είναι εξαιρετική, αφού κατορθώνουν να αναπαράγουν την ποιότητα CRT σε επίπεδη οθόνη. Η βασική διευθέτηση της οθόνης FED φαίνεται στο σχήμα 4. Φωσφορίζοντα στοιχεία διεγείρονται από δέσμη ηλεκτρονίων.

Η κάθοδος αποτελείται από μια λωρίδα αγωγισμού υλικού όπου τοποθετούνται λεπτοί κώνοι (περίπου 10000 ανά pixel). Η κάθοδος σε αυτό τον τύπο οθόνης εκτελεί την ίδια λει-

τουργία όπως το πυροβόλο ηλεκτρονίων σε μια CRT (στις αιχμές των κώνων συσσωρεύεται πλήθος ηλεκτρονίων, τα οποία και αποσπώνται υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου). Μεταξύ καθόδου και ανόδου υπάρχει διαφορά δυναμικού 200-800 V ώστε να εξασφαλίζεται η διέγερση του φωσφόρου και η παραγωγή φωτός.

Η τεχνολογία FED είναι αρκετά καινούργια. Στους κατασκευαστές διατίθενται διάφορα μοντέλα προ - παραγωγής με διαγώνιους 5 - 6 ίντσες.

## Η αντεπίθεση της CRT

Για να εξασφαλιστεί η στιβαρότητα και η μηχανική αντοχή των CRT (θυμηθείτε ότι υπάρχει κενό στο εσωτερικό τους), οι σωλήνες καμπυλώνονται στην πρόσοψη. Η καμπυλότητα προκαλεί κάποια παραμόρφωση της εικόνας και αυξημένη ευαισθησία στις ανακλάσεις πάνω στο γυαλί της πρόσοψης.

Επίπεδες οθόνες CRT υπάρχουν στην αγορά εδώ και αρκετό καιρό, αλλά μόνο σε μικρές διαγώνιους. Ωστόσο, οι οθόνες Trinitron της Sony, οι beam-guide της RCA και οι Diamondtron της Mitsubishi διατίθενται με διαγώνιους μέχρι και 50 in. Επιπλέον, η Wega FD Trinitron της Sony που εμφανίστηκε πρόσφατα, είναι μια πραγματικά επίπεδη οθόνη. Λόγω της επίπεδης πρόσοψης, οι οθόνες επιτρέπουν μεγάλη γωνία θέασης χωρίς απώλειες στην αντίθεση και την ευκρίνεια των χρωμάτων. Επιπλέον, δεν παρατηρούνται ενοχλητικές ανακλάσεις. Χρησιμοποιούνται ήδη σε καλής ποιότητας τηλεοπτικούς δέκτες και σε οθόνες υπολογιστών.

Η ανάπτυξη της επίπεδης οθόνης CRT τα τελευταία 20 χρόνια είχε να ξεπεράσει πολλές δυσκολίες. Μια από αυτές ήταν η σχεδίαση της ακανόνιστης μηχανικής κατασκευής, ικανής να αντέξει τις μεγάλες δυνάμεις που οφείλονται στην ύπαρξη κενού στο σωλήνα.

Ήταν δύσκολο να κατασκευαστεί ένας μεγάλος και βαρύς σωλήνας, αλλά σήμερα παράγεται από γυαλί παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στα παρμπρίζ των αυτοκινήτων.

Μια άλλη δυσκολία που αντιμετώπισαν οι κατασκευαστές ήταν η κατασκευή ενός καλύμματος ή διάτρητου πλέγματος που να εξασφαλίζει τη σωστή κατανομή της ηλεκτρονικής δέσμης για τα τρία βασικά χρώματα.

Η οθόνη Trinitron της Sony χρησιμοποιεί ένα μόνο πυροβόλο ηλεκτρονίων με τρεις καθόδους ευθυγραμμισμένες οριζόντια, ένα διάτρητο πλέγμα, ενώ τα φωσφορίζοντα στοιχεία διατάσσονται σε κατακόρυφες λωρίδες. Οι κάθοδοι έχουν κλίση προς το κέντρο, έτσι ώστε οι δέσμες ηλεκτρονίων να τέμνονται δύο φορές, μια μέσα στους ηλεκτρονικούς φακούς εστίασης και μια στο πλέγμα. Συνεπώς, αυτός ο τύπος σωλήνα είναι ελαφρύτερος και φθηνότερος από αυτόν με τα τρία πυροβόλα.

Η ακρίβεια με την οποία το ηλεκτρονικό πυροβόλο μπορεί να εστιάσει την δέσμη ηλεκτρονίων έχει μεγάλη σημασία όσον αφορά τη ποιότητα της εικόνας. Οι νέες τεχνολογίες που υιοθετήθηκαν στην κατασκευή του πυροβόλου βελτίωσαν σημαντικά την εστίαση. Έτσι, ο σωλήνας δεν χρειάζεται να είναι πλέον βαθύτερος. Επιπλέον, οι εκτροπείς (deflectors) γίνονται μεγαλύτεροι, πράγμα που αυξάνει την ακρίβεια της δέσμης. Άλλες μικρότερες τροποποιήσεις εξασφαλίζουν ευκρινή εικόνα στα όρια και τις παρυφές του σωλήνα και περιορίζουν κάθε παραμόρφωση που οφείλεται στη διασπορά των ηλεκτρονίων στις γωνίες.

Άλλες εταιρείες, όπως η Hitachi, η Panasonic, η LG, η Mitsubishi και η Samsung έχουν επίσης αναπτύξει επίπεδες οθόνες CRT που σύντομα θα χρησιμοποιούνται στις οθόνες υπολογιστών 17 και 19 ιντσών (και φυσικά σε μικρότερους τηλεοπτικούς δέκτες).