

### 10.5.3 Θερμοστοιχεία

---

Η λειτουργία των θερμοστοιχείων (thermocouples) βασίζεται στο φαινόμενο Seebeck. Σύμφωνα με αυτό, όταν δύο διαφορετικά μέταλλα ή κράματα τεθούν σε επαφή, τότε, λόγω του διαφορετικού έργου εξόδου τους, ελεύθερα ηλεκτρόνια μεταβαίνουν από το μέταλλο με το μικρότερο έργο εξόδου προς το μέταλλο με το μεγαλύτερο έργο εξόδου, έστω και αν δεν εφαρμόζεται εξωτερική τάση σ' αυτά. Έτσι το πρώτο μέταλλο καθίσταται θετικότερο του δεύτερου με αποτέλεσμα στο σημείο επαφής να εμφανίζεται μια «τάση επαφής». Αν τώρα τα δύο ελεύθερα άκρα βρεθούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε αναπτύσσεται μια ΗΕΔ ίση με:

$$E = a + b\Delta T + c\Delta T^2 \text{ (mV)} \quad 10.14$$

όπου  $a, b, c$  σταθερές εξαρτώμενες από τα υλικά που συμμετέχουν και  $\Delta T$  η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των μετάλλων. Επειδή η σταθερά  $c$  είναι πολύ μικρή και αν η ψυχρή επαφή είναι στους  $0^\circ\text{C}$ , τότε η 10.14 γίνεται:

$$E = aT^2 + bT \text{ (mV)} \quad 10.15$$

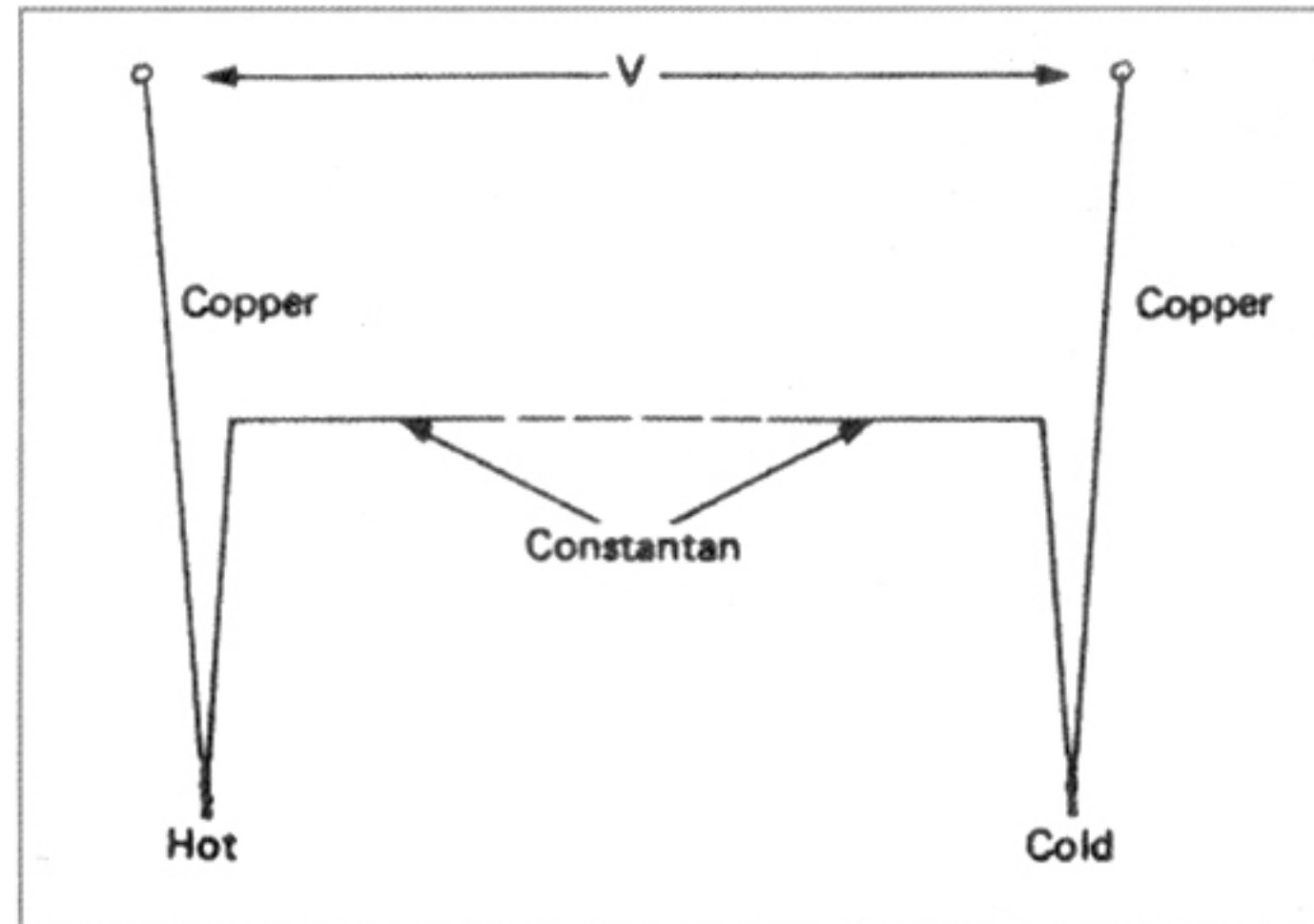
όπου  $T$  η θερμοκρασία της θερμής επαφής και  $a, b$  σταθερές εξαρτώμενες από τον τύπο της επαφής. Ορίζεται ως ουδέτερη θερμοκρασία  $T_N$  αυτή στην οποία η ΗΕΔ γίνεται μέγιστη και είναι:

$$T_N = -\frac{b}{2a} \quad 10.16$$

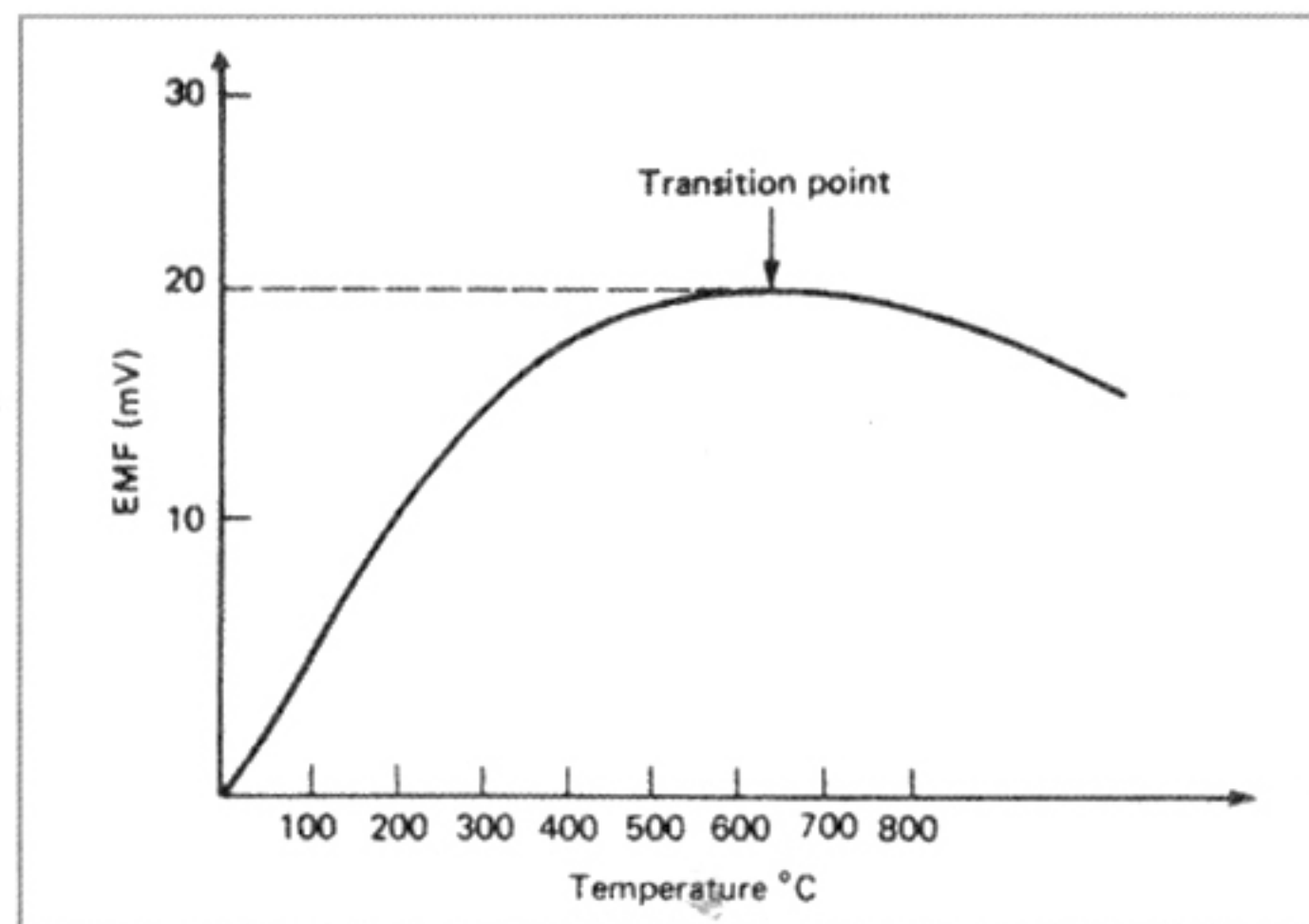
Χρησιμοποιείται δε για να καθοριστεί η περιοχή μέτρησης θερμοκρασιών από ένα συγκεκριμένο τύπο επαφής.

Πρακτικά δεν χρησιμοποιείται μια απλή επαφή αλλά δύο, μια ψυχρή και μια θερμή όπως π.χ στο σχ. 10.86α. Εφόσον και οι δύο επαφές βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία, η παραγόμενη τάση είναι μηδενική, αλλά αυξάνεται όσο αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασίας τους μέχρι του σημείου μετάβασης, όπως φαίνεται στο σχ. 10.86β. Πολλές επαφές βέβαια δεν έχουν σημείο μετάβασης, αλλά έχουν πολύ μικρή τάση εξόδου π.χ. Cu/Ag.

Σχήμα 10.86α



Σχήμα 10.86β



Στον πίνακα 10.1 δίνονται οι τιμές ΗΕΔ σε mV για επαφές πλατίνας και άλλων υλικών (ανά δύο) με διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους 100°C για απλή επαφή.

**Πίνακας 10.1**

α/α	Υλικό	HEΔ (mV)
1	Κονσταντάνη	-3.30
2	Νικέλιο	-1.50
3	Αλουμίνιο	0.40
4	Μαγγανίνη	0.65
5	Άργυρος	0.70
6	Χαλκός	0.75
7	Βολφράμιο	0.80
8	Μολυβδένιο	1.20
9	Σίδηρος	1.88
10	Πυρίτιο	45.00

Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφοροι τύποι θερμοστοιχείων όπως S, R, J, K, T, N, E και δηλώνουν τα υλικά επαφής. Στοιχεία για αυτούς τους τύπους δίνονται στον πίνακα 10.2 με Αγγλικούς κωδικούς ακροδεκτών, διότι στις Η.Π.Α το αρνητικό είναι κόκκινο και το θετικό είναι άσπρο για J, κίτρινο για K, μπλε για T, βυσσινή για E, ενώ στη Γερμανία το θετικό είναι κόκκινο και το αρνητικό είναι μπλε για το J, πράσινο για το K και καφέ για το T. Προσοχή, διότι πολλές εταιρίες δεν ακολουθούν τους παραπάνω κωδικούς. Έτσι για την AD ισχύει: μαύρο το αρνητικό, το δε θετικό κίτρινο για J, πορτοκαλί για K, μπλε για L και πράσινο για M. Όταν η απόσταση μεταξύ του θερμοστοιχείου και του οργάνου μέτρησης είναι σημαντική, τότε τα καλώδια επέκτασης ή αντιστάθμισης πρέπει να συνδέονται με τα άλλα δύο. Η διαφορά τους είναι ότι τα καλώδια επέκτασης κατασκευάζονται από το ίδιο υλικό με το θερμοστοιχείο και χρησιμοποιούνται στις ίδιες θερμοκρασίες, ενώ τα αντιστάθμισης κατασκευάζονται από μέταλλα μικρού κόστους και χρησιμοποιούνται σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στη σύνδεση των καλωδίων με τη σωστή πολικότητα. Στον πίνακα 10.3 δίνονται οι κωδικοί των καλωδίων αντιστάθμισης για δύο τύπους, U=ευγενών μετάλλων και VX= μεταλλικής βάσης.

Όμως και οι συνδετήρες (connectors) μεταξύ θερμοστοιχείων και καλωδίων είναι κωδικοποιημένοι χρωματικά. Έτσι π.χ. για τη Μεγ. Βρετανία ισχύει: K=κίτρινος, N=πορτοκαλί, T=μπλε, J=μαύρος και R=πράσινος.

Είναι πλέον προφανές ότι για να αναγνωρίσουμε πλήρως ένα set θερμοστοιχείου πρέπει να γνωρίζουμε τη χώρα ακόμη δε και την εταιρία παραγωγής.



Πίνακας 10.2

α/α	Κωδικός	Υλικό	Κωδικοί καλωδίων επέκτασης	ΗΕΔ στους 100°C (mV)	Περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας (°C)
1	S	+PtRh/-Pt	+Άσπρο/-Μπλε	0.645	0~1400
2	R	+PtRh/-Pt	+Άσπρο/-Μπλε	0.647	0~1350
3	K	+NiCr/-NiAl	+Καφέ/-Μπλε	4.095	-200~+1100
4	T	+Cu/-CuNi	+Άσπρο/-Μπλε	4.277	-200~+400
5	J	+Fe/-CuNi	+Κίτρινο/-Μπλε	5.268	0~+850
6	E	+NiCr/-CuNi	+Καφέ/-Μπλε	6.137	0~+850
7	N	+NiCrSi/-NiSi	+Πορτοκαλί/-Μπλε	-	-230~+1300

Πίνακας 10.3

α/α	Κωδικός	Μεγ. Βρετανία	Η.Π.Α.	Γερμανία
1	U	+Άσπρο/-Μπλε εξωτερικό πράσινο	+Μαύρο/-Κόκκινο εξωτερικό πράσινο	+Κόκκινο/-Άσπρο εξωτερικό άσπρο
2	VX	+Άσπρο/-Μπλε εξωτερικό κόκκινο	+Καφέ/-Κόκκινο εξωτερικό κόκκινο	+Κόκκινο/-Πράσινο εξωτερικό πράσινο

Στα σχ. 10.87α,β,γ,δ παρουσιάζονται διάφοροι τύποι θερμοστοιχείων.

Οι χρήσεις των θερμοστοιχείων ποικίλλουν και εξαρτώνται από τον τύπο της επαφής, από την ύπαρξη ή όχι μόνωσης, από τα γεωμετρικά στοιχεία τους, από την τεχνική κατασκευής της επαφής, από τις απαιτήσεις των εφαρμογών κ.λπ.

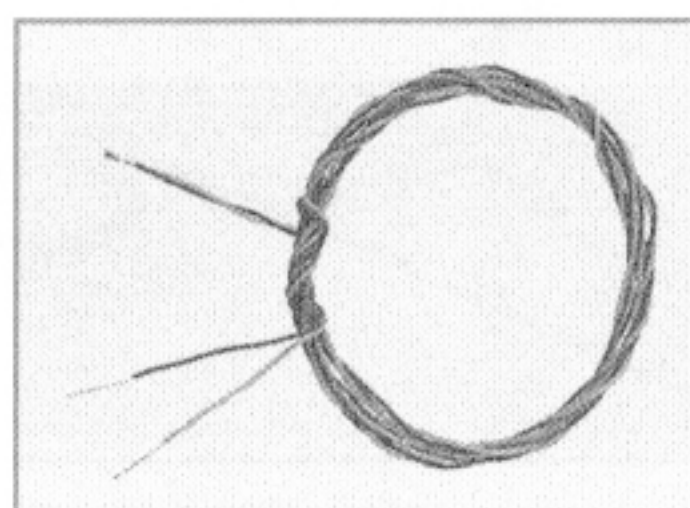
Έτσι, ο τύπος K έχει διάφορα στυλ, όπως βιομηχανικό για θερμοκρασίες (-100~+1100)°C και γενικές εφαρμογές, μονωμένο με γυαλί ή PTFE ή MgO για γενικές εφαρμογές ή μετρήσεις θερμοκρασίας φούρνων – κλιβάνων – καυσαερίων, Probe για μικρές θερμικές επιφάνειες, βιομηχανικό Probe με μόνωση MgO για μπάνια – καμίνια – κλιβάνους κ.λπ.

- Ο τύπος R χρησιμοποιείται κυρίως σε κεραμικούς κλιβάνους και βιομηχανίες γυαλιού.
- Ο τύπος T είναι οικονομικό θερμοστοιχείο γενικών εφαρμογών.
- Ο τύπος J χρησιμοποιείται κυρίως στις βιομηχανικές εφαρμογές και
- Ο τύπος N-βελτιωμένος τύπος K-χρησιμοποιείται όπου και ο K.

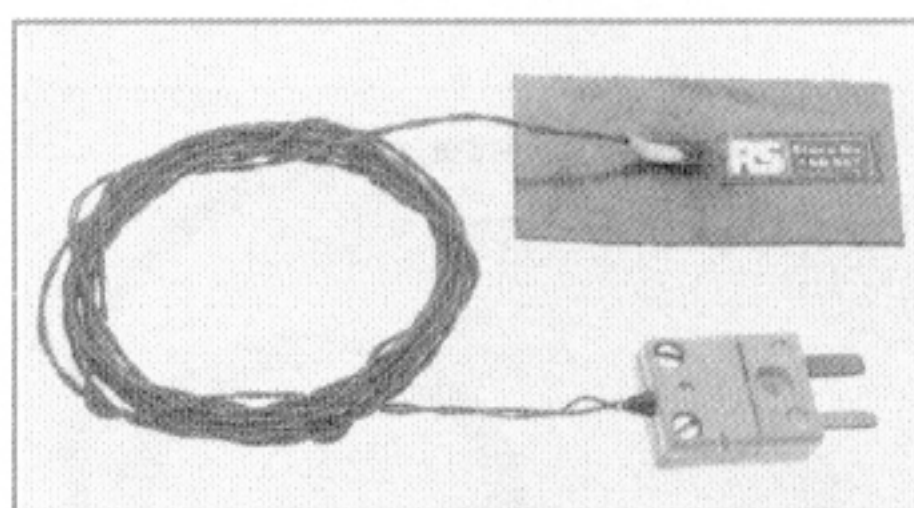
**Παρατήρηση I:** Με θερμοστοιχεία κατασκευάζονται τα θερμοαμπερόμετρα για AC-DC. Η σύνδεση σε σειρά πολλών

θερμοστοιχείων δίνει μια θερμοστήλη (thermopile) για αυξημένη παραγωγή ΗΕΔ.

Σχήμα 10.87α



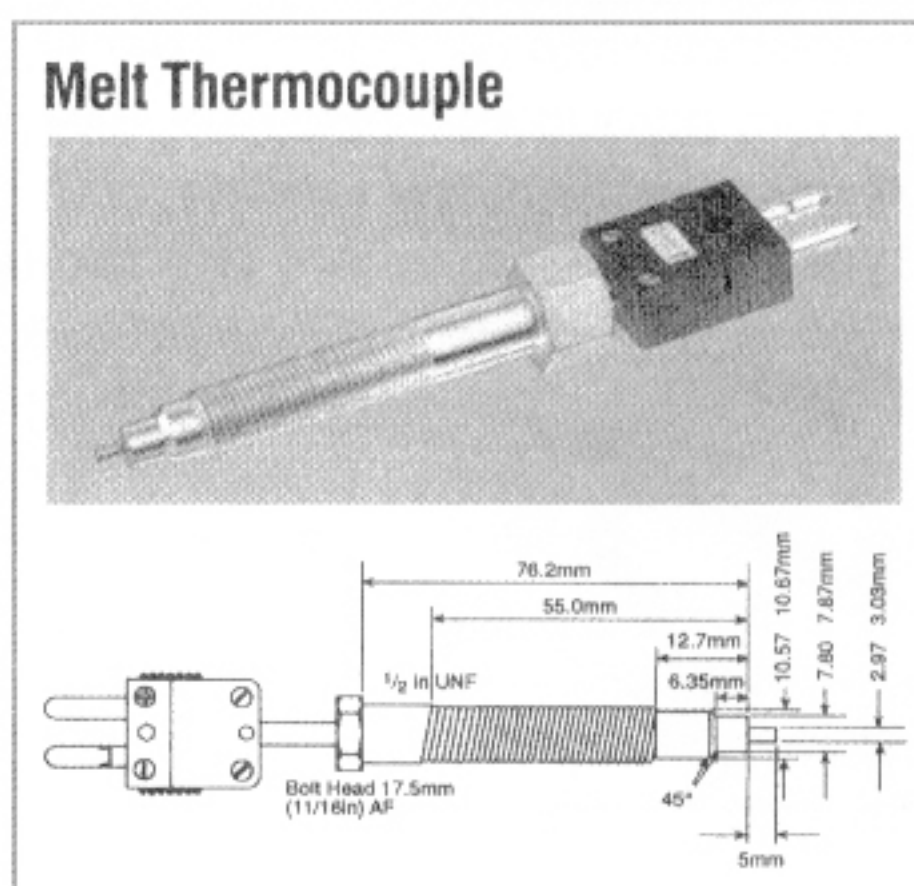
Σχήμα 10.87β



Σχήμα 10.87γ



Σχήμα 10.87δ



**Παρατήρηση II:** Τα θερμοστοιχεία αποτελούνται από:

S=90% Pt, 10% Rh και 100% Pt.

R=87%Pt, 13%Rh και 100% Pt.

J=100% Fe και (57~60)%Cu, (40~43)%Ni ή στοιχείο σιδήρου-κονσταντάνης.

K=90% Ni, 10% Cr και 95%Ni, 5% Al-Si-Mn ή στοιχείο cromel-alumel.

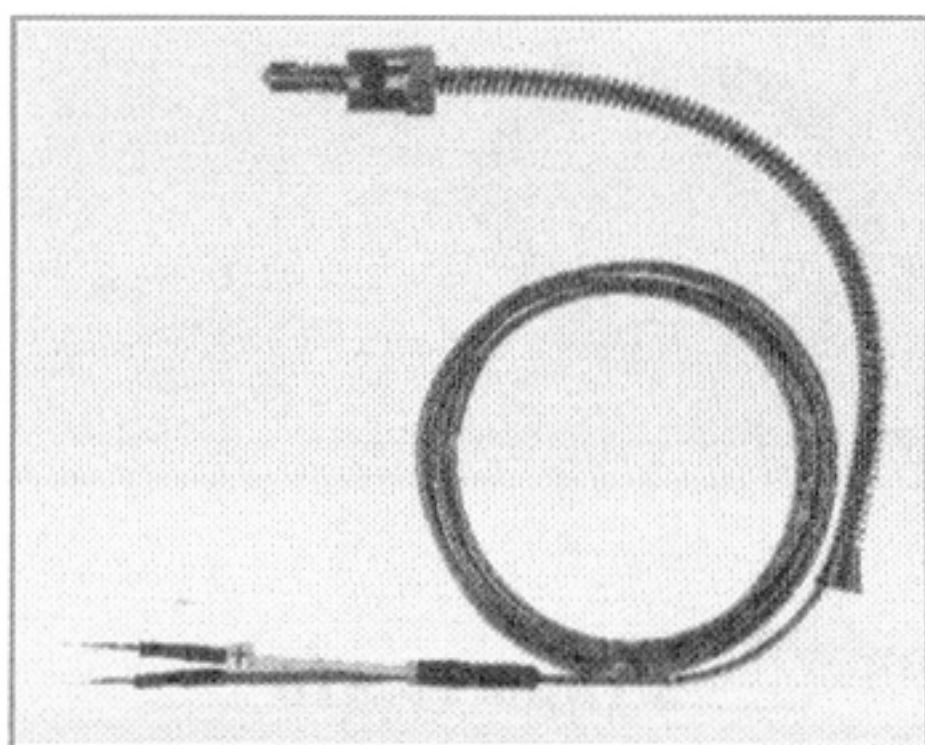
T=100% Cu και (57~60)%Cu, (40~43)Ni ή στοιχείο χαλκού-κονσταντάνης.

N=84% Ni, 16% Cr-Si-Fe-C και 95% Ni, 5% Cr-Si-Fe-

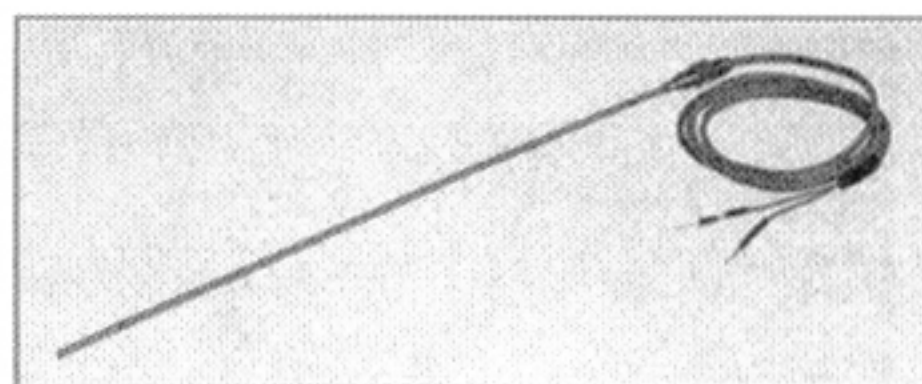


C-Mg ή στοιχείο nicrosil-nisil.  
E=90% Ni, 10% Cr και (57~60)%Cu, (40~43)%Ni ή  
στοιχείο cromel-κονσταντάνης.

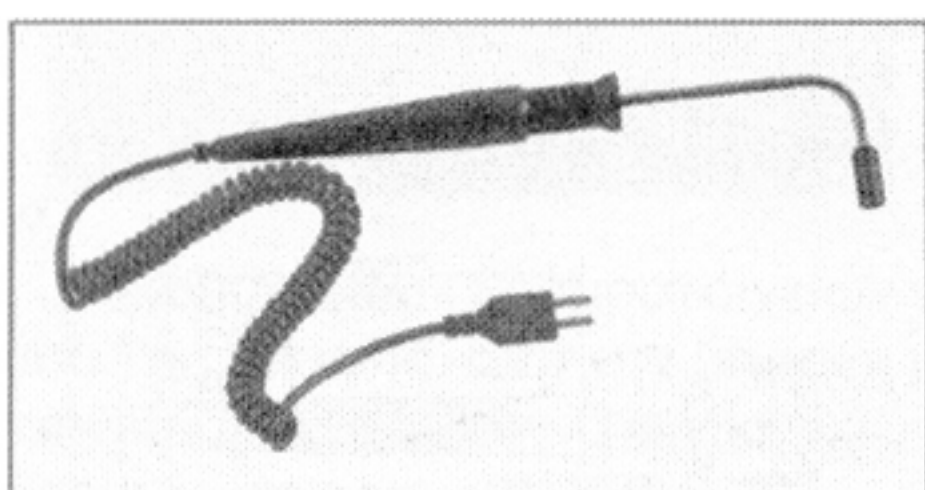
Σχήμα 10.87ε



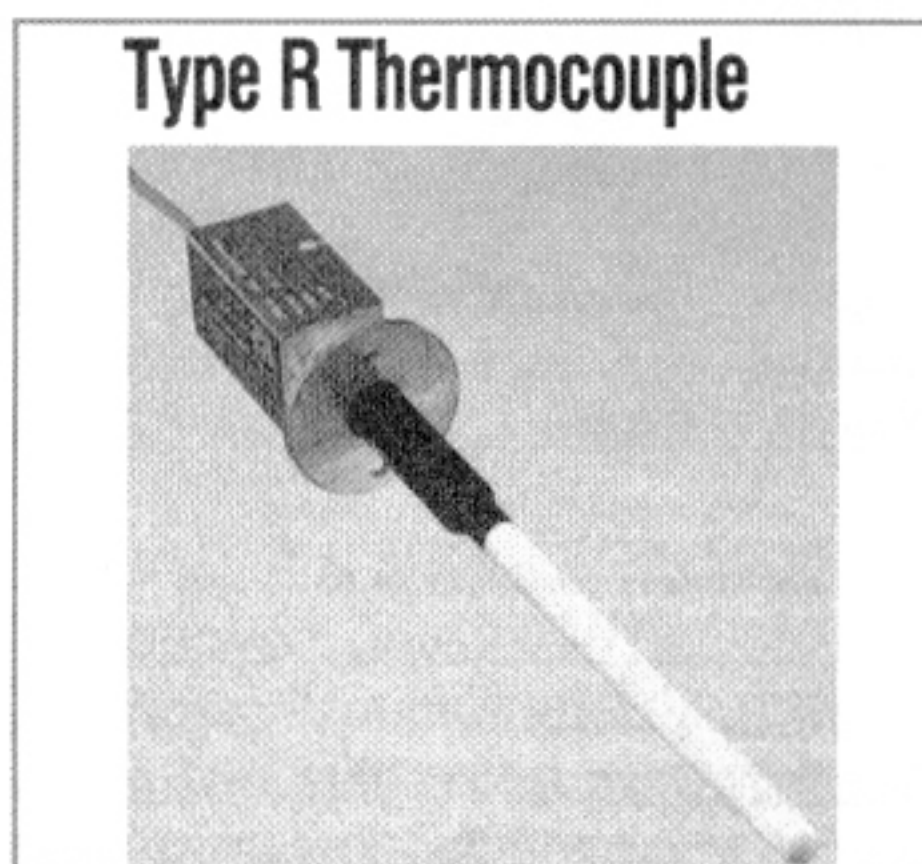
Σχήμα 10.87στ



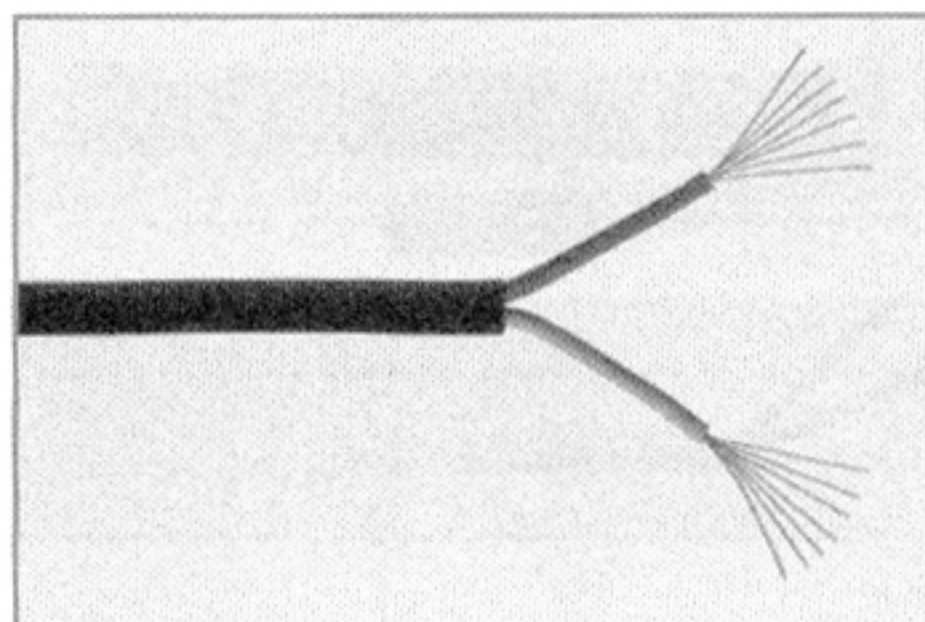
Σχήμα 10.87ζ



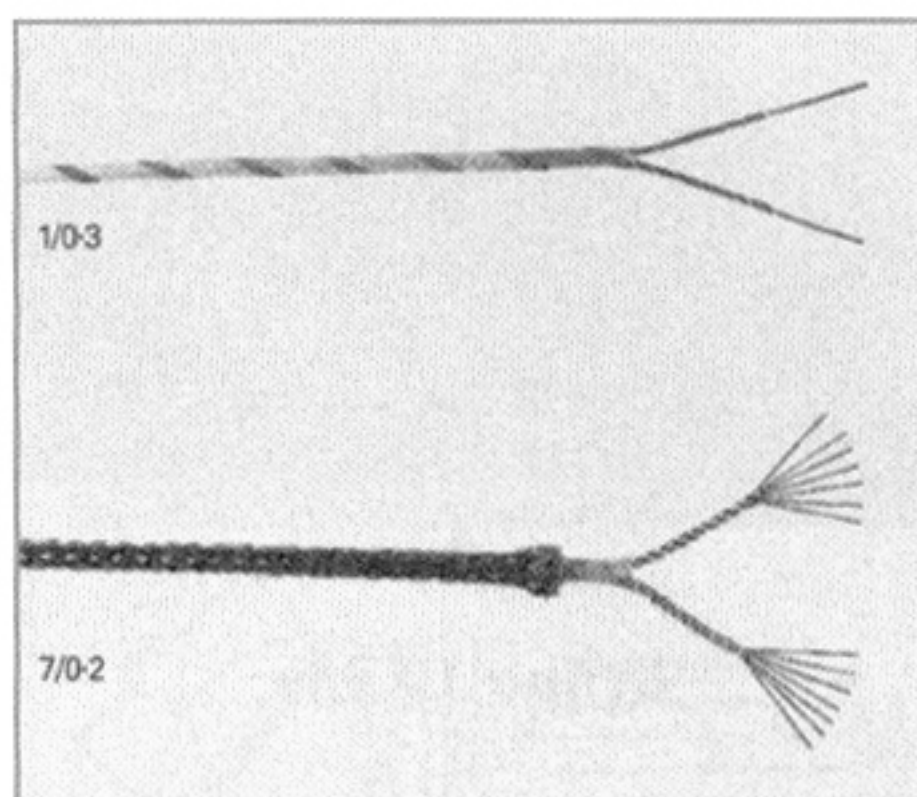
Σχήμα 10.87η



Σχήμα 10.87θ



Σχήμα 10.87ι



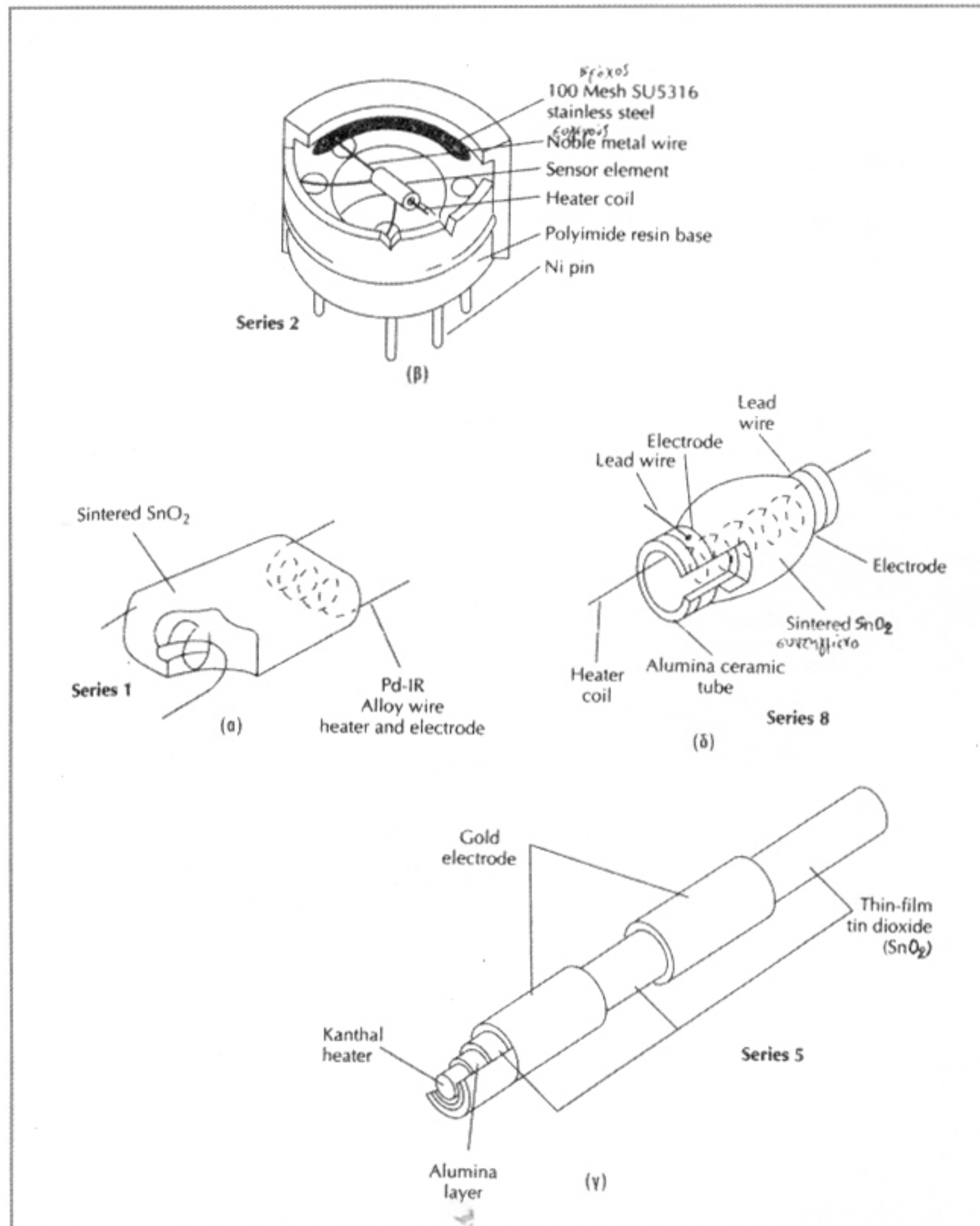
#### 10.7.8 Διαφόρων Αερίων – Ατμών – Καπνού

---

- A. Τις δύο τελευταίες δεκαετίες έχει αναπτυχθεί ένα νέο πεδίο ηλεκτρονικών αισθητήρων με βάση τα ημιαγωγιμα υλικά. Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζει την ιδιότητα των ημιαγωγών να μεταβάλλουν την αντίστασή τους, όταν βρίσκονται μέσα σε περιβάλλον κάποιου αερίου, καθώς τα μόρια του αερίου εισέρχονται από την επιφάνεια του ημιαγωγού στη μάζα του. Ως ημιαγωγοί τύπου N χρησιμοποιούνται τα:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$  και  $\text{ZnO}$  και ως ημιαγωγοί τύπου P τα:  $\text{CuO}_2$ ,  $\text{NiO}$  και  $\text{CoO}$ . Έτσι, κάθε ημιαγωγός – ανάλογα με τις προσμίξεις και τη θερμοκρασία λειτουργίας του – είναι περισσότερο ευαίσθητος σ' ένα συγκεκριμένο αέριο.



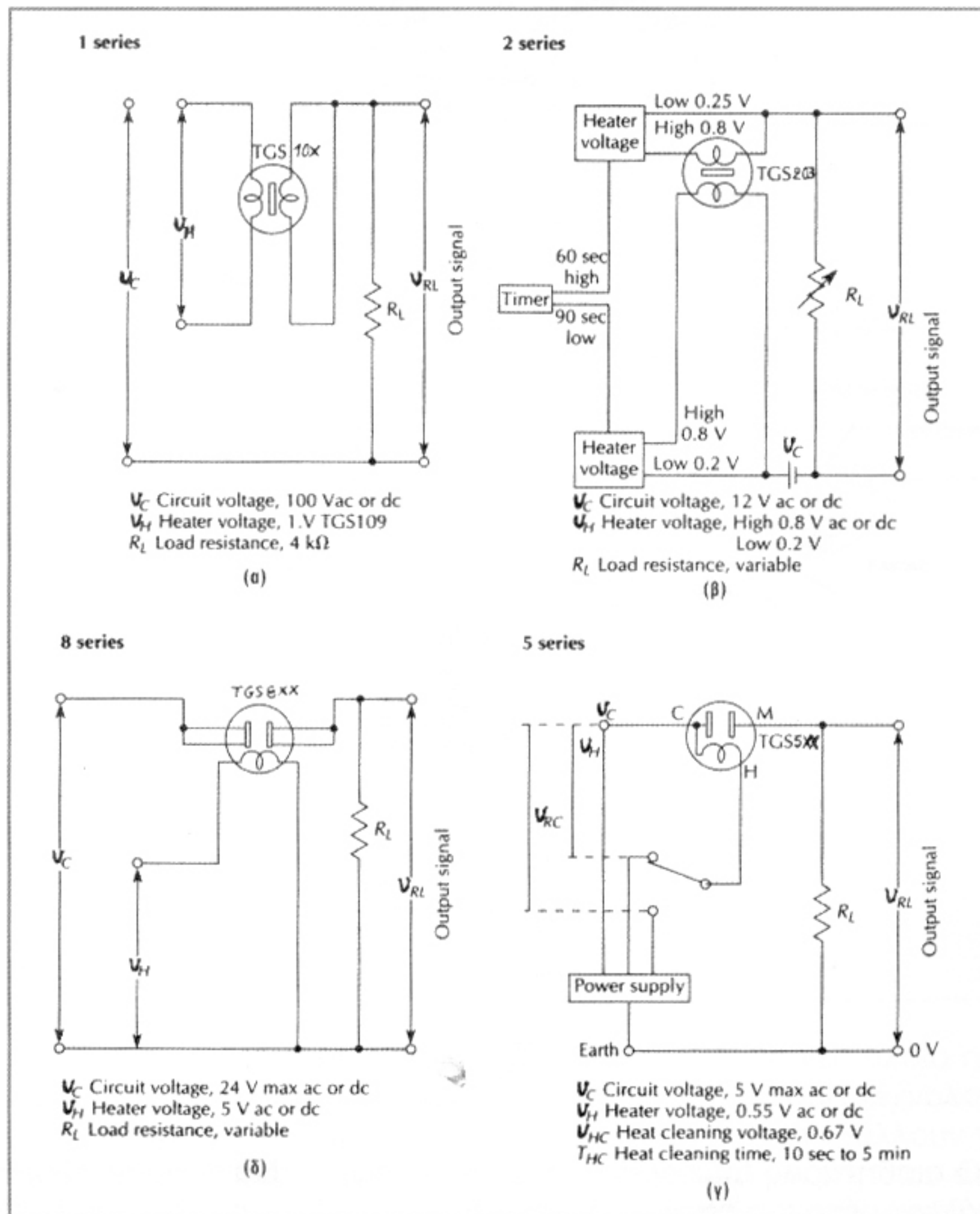
Σχήμα 10.116



Ο αισθητήρας αποτελείται από ένα στρώμα ημιαγωγικού οξειδίου μετάλλου μέσα στο οποίο υπάρχουν δύο περιελίξεις από ιρίδιο/παλλάδιο και χρησιμοποιούνται ως στηρίγματα, θερμαντικά στοιχεία και ηλεκτρόδια. Πρόκειται για τους αισθητήρες θερμαντικού στοιχείου με διοξείδιο του κασσίτερου ( $\text{SnO}_2$ ) των σειρών 1-2-5-8 της εταιρίας FIGARO, σχ. 10.116α,β,γ,δ. Στον πίνακα 10.5 δίνονται οι κατηγορίες, οι χρήσεις και οι κώδικες των αισθητήρων της FIGARO.

Στα σχ. 10.117α,β,γ,δ δίνονται τα κυκλώματα μέτρησης των αισθητήρων των σειρών 1-2-5-8 αντίστοιχα.

Σχήμα 10.117



**Πίνακας 10.5**

α/α	Κατηγορία	Κώδικας	Χρήσεις
1	Εύφλεκτα αέρια	TGS 109	LPG* (προπάνιο, ισοβουτάνιο). (500~10.000)ppm.
		TGS 109T	Φυσικό αέριο. (500~10.000)ppm.
		TGS 813	Μεθάνιο, προπάνιο, ισοβουτάνιο.
		TGS 816	» » »
		TGS 842	» » » (500~10.000)ppm.
		TGS 815	Μεθάνιο (500~10.000)ppm.
		TGS 821	Υδρογόνο (50~10.000)ppm.
2	Τοξικά αέρια	TGS 203	Μονοξειδίο του άνθρακα. (50~10.000)ppm.
		TGS 824	Αμμωνία (30~300)ppm.
		TGS 825	Υδρόθειο (5~100)ppm.
3	Οργανικοί διαλύτες	TGS 822	Αλκοόλη, τολουόλιο (50~5000)ppm.
		TGS 823	Ξυλένιο (50~5000)ppm.
4	Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)	TGS 830	R-113, R-22 (100~3000)ppm.
		TGS 831	R-21, R-22 (100~3000)ppm.
5	Αέρια έντονης οσμής	TGS 501	Ενώσεις θείου (0.1~10)ppm.
		TGR 590	Όζον (0~200)ppb.
6	Έλεγχου εξαερισμού	TGS 100 TGS 800	Μολύνσεις του αέρα (καπνός τσιγάρων, αναθυμιάσεις βενζίνης). (0~100)ppm.
7	Έλεγχου μαγειρεύματος	TGS 880 TGS 881	Πτητικά αέρια, ατμοί φαγητών (αέρια, υδρατμοί, καπνός).
		TGS 883T	Υδρατμοί, πτητικά αέρια και ατμοί φαγητών (υψηλή ευαισθησία στους υδρατμούς).

\* LPG (Liquefied Petroleum GAS). Υγροποιημένα αέρια πετρελαίου.

Για το κύκλωμα της σειράς 1, το ένα ή αμφότερα τα ηλεκτρόδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θερμαντήρες. Υπάρχει σε δύο τύπους με διακρίβωση και χωρίς διακρίβωση.

Ο αισθητήρας της σειράς 2, δηλαδή το TGS203 χρησιμοποιείται μόνο για την ανίχνευση του CO. Επικουρικά, βέβαια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ανίχνευση υδρογόνου και αιθανόλης, αλλά με αρκετά μικρότερη ευαισθησία, περίπου 10% και 2,5% αντίστοιχα. Η σχετικά

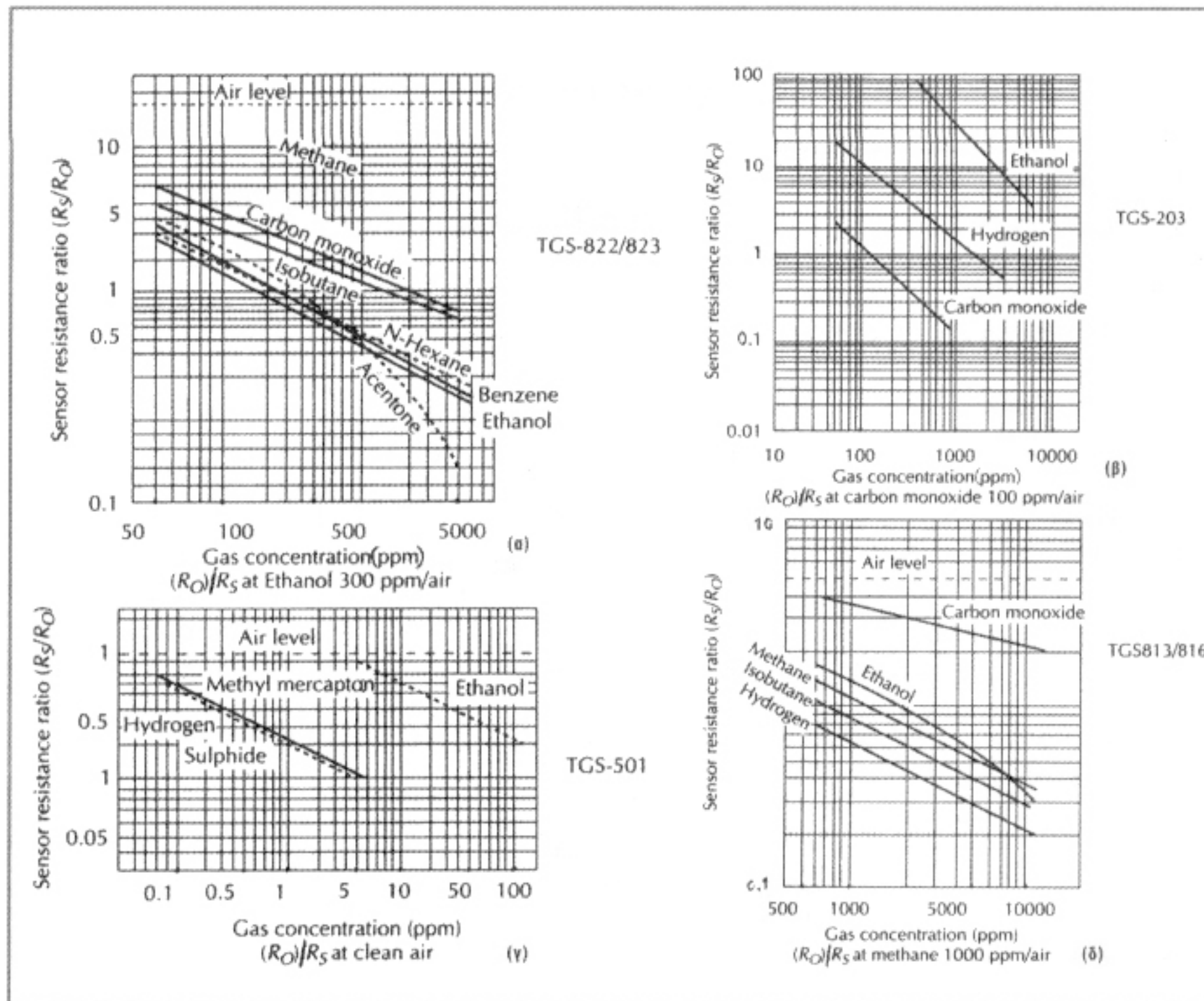


χαμηλή θερμοκρασία του αισθητήρα επιδρά στην απόκρισή του ενώ η υγρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει την ακρίβειά του. Γι' αυτό υπερθερμαίνεται για ένα μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να εξαλειφθεί η υγρασία και τα τυχόν εναπομείναντα μόρια αερίου από άλλη μέτρηση. Αυτή σταθεροποιείται στη θερμοκρασία λειτουργίας περίπου 100°C. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, στη θερμοκρασία λειτουργίας, το ρεύμα θέρμανσης διακόπτεται τρεις φορές για να μετρηθεί η αντίσταση του ημιαγωγού μεταξύ των διαδοχικών θερμάνσεων. Κατά τη μέτρηση ο αισθητήρας παρουσιάζει μια αντίσταση  $R_s$  η οποία σε σειρά με την  $R_L$  σχηματίζει ένα διαιρέτη τάσης. Η τάση εξόδου  $U_{R_L}$  είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του CO. Για τον έλεγχο των αισθητήρων αερίων η FIGARO διαθέτει τον μικροελεγκτή FIC5401.

Ο μικροελεγκτής παρέχει ρεύμα (high) στη φάση της υπερθέρμανσης για 60sec και μετά ελαττώνεται (low) για 90sec (συνολικός χρόνος 150sec). Κατά την ελάττωση το ρεύμα θέρμανσης διακόπτεται τρεις φορές για χρόνο 28msec–27msec–500msec. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας διακοπής συγκρίνονται οι τάσεις  $U_{R_L}$  και  $U_{ref}$  και εφόσον  $U_{R_L} > U_{ref}$  τότε δίνεται συναγερμός. Στο σχ. 10.118α δίνεται η μεταβολή του λόγου  $R_s/R_0$  σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του αερίου, για το TGS203· όπου  $R_0$  η αντίσταση του αισθητήρα σε κατάσταση υπερθέρμανσης και  $R_s$  η αντίστασή του σε κατάσταση διακοπής.

Ο αισθητήρας της σειράς 5, δηλαδή το TGS501 χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση ενώσεων θείου, αλλά και αιθανόλης. Είναι αισθητήρας μικρού ρεύματος με τρία κύρια στοιχεία SnO<sub>2</sub>, ένα ζεύγος ηλεκτροδίων από χρυσό και θερμαντήρα με επένδυση αλουμίνας. Στο σχ. 10.118β δίνεται η μεταβολή  $R_s/R_0$  σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση των αερίων σε ppm. Ο αισθητήρας TGS590 χρησιμοποιείται για μετρήσεις του όζοντος. Τα NO<sub>x</sub> και ο καπνός των τσιγάρων επηρεάζουν την ακρίβεια και την ευαισθησία του. Εφαρμόζεται για τη μέτρηση της αποδοτικότητας των φίλτρων διάσπασης όζοντος στις εγκαταστάσεις κλιματισμού. Ο αισθητήρας δεν έχει γραμμική συμπεριφορά και η σταθερότητά του κρίνεται ικανοποιητική για μετρήσεις με διάρκεια ως 100 ημέρες. Ο μικροελεγκτής 80C535A συνεργάζεται με το TGS590. Ο αισθητήρας υπερθερμαίνεται για 3min με τάση 0.8V<sub>DC</sub>, μετά η λειτουργία του σταθεροποιείται για άλλα 3min με τάση 0.6V<sub>DC</sub> και στη συνέχεια πραγματοποιείται η μέτρηση για άλλα 3min.

Σχήμα 10.118(α,β,γ,δ)



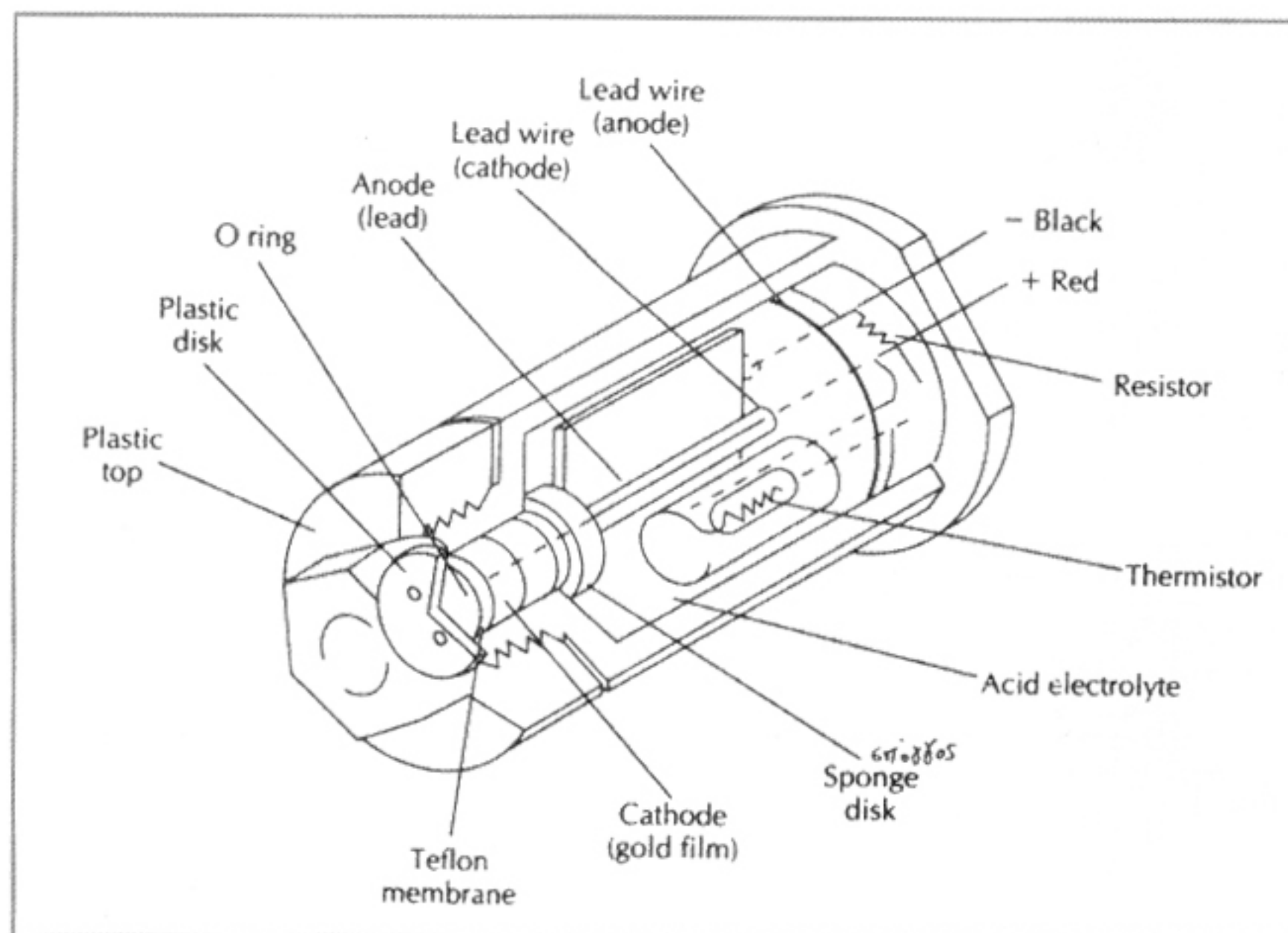
Οι αισθητήρες της σειράς 8 είναι υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλού κόστους. Το πηνίο θέρμανσης παρουσιάζει αντίσταση 30 Ω. Ο συντηγμένος ημιαγωγός  $\text{SnO}_2$  εναποτίθεται πάνω στο κεραμικό υλικό. Αυτοί οι αισθητήρες επηρεάζονται πολύ από την υγρασία και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι, θα πρέπει να διερευνηθεί το μέρος που θα εγκατασταθούν, η λειτουργία που θα επιτελέσουν – ανίχνευση ή διαρροή αερίου, fan-control ή παρακολούθηση του αέρα – και το αέριο το οποίο θα ανιχνευθεί. Στα σχ. 10.118γ,δ δίνονται οι μεταβολές  $R_s/R_0$  σε συνάρτηση με τις συγκεντρώσεις αερίων.

Β. Στο σχ. 10.119 παρουσιάζεται η δομή των αισθητήρων οξυγόνου σειράς GS, των KE25/KE50. Χρησιμοποιείται στην ιατρική στα όργανα αναισθησίας, στα εκκολαπτήρια, στις βιοτεχνίες παρασκευής φαγητών, στους καθαριστές αέρα, στα air-conditioners, στα ψυγεία κ.ά. Στον αισθητήρα, τα μόρια του οξυγόνου διαχέονται διαμέσου της μη πορώδους μεμβράνης teflon στο ηλεκτροχημικό στοιχείο. Εκεί το αέριο ανάγεται από το ηλεκτρόδιο χρυσού και ένα ρεύμα ρέει μεταξύ της



ανόδου από μόλυβδο και της καθόδου από χρυσό, ανάλογο προς τη συγκέντρωση οξυγόνου στο αέριο.

Σχήμα 10.119



Γ. Στα σχ. 10.120α,β δίνεται η δομή ενός αισθητήρα αερίου, λεπτού film οξειδίου-μετάλλου της Teknetron. Αυτοί οι μικροηλεκτροχημικοί αισθητήρες αποτελούνται από ένα υλικό υποστρώματος με ανοικτό άκρο και ηλεκτρόδιο διαπερατό από το αέριο για την ανίχνευσή του. Το αέριο διαχέεται από την πίσω πλευρά του αισθητήρα. Αυτή η άμεση διάχυση του αερίου προσδίδει γρήγορη γραμμική απόκριση στον αισθητήρα. Πλεονεκτήματά τους η μικρή απαίτηση ισχύος και η υψηλή επιλεκτικότητα.

Μια νέα κατηγορία FETs, τα CHEMFETs (CHEMical Field-Effect Transistors), αποτελούνται από ένα χημικά ευαίσθητο στρώμα το οποίο τοποθετείται πάνω στην πύλη ενός FET. Το παλλάδιο είναι ευαίσθητο στο υδρογόνο και τους αέριους υδρογονάνθρακες, ενώ με απόθεση χρυσού είναι ευαίσθητο στο προπυλένιο κ.λπ.

Άλλη κατηγορία είναι τα ISFETs (Ion-Sensitive FETs), τα οποία πρέπει να χρησιμοποιούν μια ιοντοεπιλεκτική μεμβράνη πάνω στα μονωμένα ISFETs.



Σχήμα 10.120

