



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ελληνική λέξη «Κέραμος» είναι γνωστή από τους αρχαίους χρόνους και συνδέεται άμεσα με την αρχαία τέχνη και τεχνική της αγγειοπλαστικής. Η τέχνη των κεραμικών έχει αναπτυχθεί, μέσα από μια περίοδο ετών, με τη βοήθεια των νέων και εξελιγμένων τεχνολογιών, σε μια εξέχουσα τεχνολογία στην περιοχή της επιστήμης του Χημικού Μηχανικού.

Με τον όρο «Κεραμικά» (Ceramics) έχει θεσπιστεί γενικά σε διεθνή κλίμακα (European Ceramic Society, American Ceramic Society) ο χαρακτηρισμός κάθε ανόργανου μη μεταλλικού υλικού, που έχει υποστεί θερμική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες ( $>1000$  °C) είτε κατά το στάδιο της επεξεργασίας του είτε κατά το στάδιο της εφαρμογής του.

Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, στα κεραμικά περιλαμβάνεται μια πολύ μεγάλη κατηγορία ανόργανων υλικών, που αρχίζει από τα «Παραδοσιακά Κεραμικά» (Traditional Ceramics) και εκτείνεται μέχρι τα «Κεραμικά Προηγμένης Τεχνολογίας» (Advanced or Technical Ceramics).

Στην ευρεία περιοχή της Επιστήμης των υλικών αυτών αντιμετωπίζονται όλοι οι τύποι των χημικών δεσμών. Ο Χημικός Μηχανικός, λοιπόν, καλείται να εφαρμόσει όλο το υπόβαθρο των γνώσεων που αποκόμισε από την παρακολούθηση των σχετικών μαθημάτων του παρελθόντος (Ανόργανη Χημεία, Φυσικοχημεία, Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης κ.λπ.) για να διερευνήσει τη δομή και τις ιδιότητες των κεραμικών, ώστε να τις αξιοποιήσει τεχνολογικά.

Στόχος, επομένως, του συγγράμματος αυτού είναι, μέσα από ερευνητικές και τεχνολογικές εμπειρίες, να δώσει τις απαραίτητες γνώσεις και εφόδια στους σπουδαστές που θα παρακολουθήσουν την κατεύθυνση της Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κεραμικών, ενώ παράλληλα να αποτελέσει ένα ερέθισμα και χρήσιμο οδηγό για τους Μηχανικούς που θα ασχοληθούν στη σχετική Βιομηχανία.

Η προσέγγιση του στόχου αυτού επιχειρείται στις σελίδες που ακολουθούν, με την παράθεση πλήθους τεκμηριωμένων επιστημονικών πληροφοριών, οι οποίες αποτελούν μια πλατιά και γερή βάση πάνω στην οποία να μπορεί να οικοδομήσει κανείς περαιτέρω.

Έτσι, στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα παραδοσιακά πυριτικά και αργιλοπυριτικά κεραμικά. Τα υλικά αυτά από τη φύση τους υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς. Αυτοί είναι αποτέλεσμα του είδους της δομής των πυριτικών, του τρόπου με τον οποίο μπορούν να μετασχηματιστούν και, το σπουδαιότερο, του γεγονότος ότι οι κρυσταλλικές φάσεις στα πυριτικά υλικά βρίσκονται συνήθως εγκλωβισμένες μέσα σε υαλώδη φάση.

Τα υλικά αυτά είναι δυνατόν να αναβαθμιστούν. Η αναβάθμιση αυτή αποτελεί θέμα ανάπτυξης του δεύτερου κεφαλαίου, όπου διερευνώνται τα ελαφροβαρή κεραμικά στοιχεία και τα σύνθετα υλικά. Ο ομοιοπολικός δεσμός είναι εκείνος που επικρατεί στα υλικά των δύο αυτών κεφαλαίων και επομένως εξετάζεται ιδιαίτερα στο κεφάλαιο αυτό.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην Επιστήμη και Τεχνολογία του γυαλιού και εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να αναβαθμιστούν τα υλικά του πρώτου κεφαλαίου. Μια πιθανή κατεύθυνση είναι η κρυστάλλωση του γυαλιού που αναφέρεται στο κεφάλαιο τέσσερα, όπου ασχολείται με την Επιστήμη και Τεχνολογία των υαλοκεραμικών.

Στο κεφάλαιο πέντε δίνεται μια εναλλακτική απάντηση στο ερώτημα της αναβάθμισης που τίθεται από το κεφάλαιο ένα. Αυτή αναφέρεται στην ανάπτυξη δυαδικών συστημάτων κεραμικών οξειδίων, που δεν είναι πυριτικά μέσα σε υαλώδη φάση. Η καλύτερη προσέγγιση στα υλικά αυτά επιτυγχάνεται με τη θεωρία του ιοντικού δεσμού. Επομένως, στο ίδιο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι απαραίτητες γνώσεις για το δεσμό αυτό.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στα υλικά που περιγράφονται με τον όρο «ειδικά». Τα υλικά αυτά αντιμετωπίζονται με ένα πρότυπο μεικτού δεσμού για να ταξινομηθούν οι ιδιότητες που προσδιορίζουν τέτοια υλικά.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μια προσέγγιση στην κατηγορία των Κεραμικών Προηγμένης Τεχνολογίας που παρουσιάζουν ηλεκτρικές ιδιότητες και αναφέρονται ορισμένες από τις δυνατές εφαρμογές τους.

Χρήστος Π. Φτίκος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Κεφάλαιο 1

#### ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ

1.1	Εισαγωγή .....	19
1.2	Ορισμός της υπό μελέτη περιοχής .....	21
1.3	Ο ρόλος της θερμοκής κατεργασίας .....	22
1.4	Ημιδιαφάνεια (translucency) .....	24
1.5	Πυριτικά .....	26
1.5.1	Πυριτικά και αργιλοπυριτικά που περιέχουν μονομερείς ομάδες ανιόντων .....	31
1.5.2	Ορυκτά με αλυσίδες πυριτικών .....	46
1.5.3	Φυλλοειδή πυριτικά ορυκτά .....	54
1.5.4	Δικτυωτά πυριτικά .....	66
1.5.5	Πυριτικά Άλατα του Νατρίου .....	78
1.5.6	Μετασχηματισμοί κατά τη θερμοκή κατεργασία των πρώτων υλών των κεραμικών-Τοποταξία .....	81
1.5.7	Σύνδεση πυριμάχων με φωσφορικά .....	92
	Βιβλιογραφία .....	96

### Κεφάλαιο 2

#### ΕΙΔΙΚΑ ΕΛΑΦΡΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΓΙΑ ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2.1	Ανάλυση της εξίσωσης αντοχών .....	100
2.1.1	Επιφανειακή ενέργεια .....	100
2.1.2	Προέλευση του δείκτη ελαστικότητας Young .....	103
2.2	Ομοιοπολικός δεσμός .....	106
2.2.1	Η φύση του προβλήματος .....	106
2.2.2	Ύλη-Κύματα .....	108
2.2.3	Η κυματική φύση των ατόμων .....	110
2.2.4	Ατομικά τροχιακά και η εξειδίκευσή τους .....	111
2.2.5	Οι στοιβάδες των ατόμων, η αρχή πλήρωσης (aufbau principle) και το Περιοδικό Σύστημα .....	116
2.2.6	Ομοιοπολικός δεσμός (εντοπισμένα μοριακά τροχιακά) .....	117
2.2.7	Η Θεωρία των μοριακών τροχιακών στην ομοιοπολική σύνδεση ....	124

2.3	Αναγνώριση δυναμικών υλικών για υψηλές αντοχές .....	132
2.4	Βόριο .....	133
2.4.1	Δομή και σύνδεση .....	134
2.5	Άνθρακας και γραφίτης .....	137
2.5.1	Δομή και σύνδεση .....	140
2.5.2	Ίνες άνθρακα για μηχανικές εφαρμογές .....	143
2.5.3	Δραστηκότητα του γραφίτη .....	144
2.6	Πυρίτιο .....	145
2.6.1	Παρασκευή και δομή .....	145
2.6.2	Αγωγιμότητα των «οπών» .....	146
2.6.3	p-n διακλαδώσεις .....	147
2.7	Καρβίδιο του βορίου .....	148
2.7.1	Δομή .....	149
2.8	Νιτρίδια του βορίου .....	150
2.8.1	Παρασκευή και ιδιότητες του πυρολυτικού BN .....	151
2.9	Οξειδίο του βορίου .....	153
2.10	Καρβίδιο του πυριτίου .....	155
2.10.1	Δομή .....	155
2.10.2	Οξειδωση .....	157
2.11	Νιτρίδια του πυριτίου .....	158
2.11.1	Δομή .....	158
2.11.2	Ιδιότητες και κατασκευή .....	159
2.11.3	$\alpha$ -Νιτρίδιο του πυριτίου και οξυνιτρίδιο του πυριτίου .....	162
2.11.4	Παρασκευή με νιτρίδιο του πυριτίου .....	163
2.11.5	Βελτιωτικά συμπίκνωσης για την πυροσυσσωμάτωση του $\text{Si}_3\text{N}_4$ .....	165
2.12	Sialons .....	168
2.12.1	Παράσταση του συστήματος Si-Al-O-N .....	169
2.12.2	Συσχετίσεις στη φάση Si-Al-O-N .....	171
2.12.3	Παρασκευή των sialons .....	175
2.12.4	Sialons με μέταλλα .....	176
2.12.5	Γυαλιά νιτριδίων .....	178
2.13	Ανάπτυξη υψηλής αντοχής και δυσθραυστότητας με ινώδη σύνθετα υλικά .....	179
2.13.1	Ελαστικές ιδιότητες σύνθετων υλικών .....	182
2.13.2	Αντοχές σύνθετων υλικών .....	184
2.13.3	Ειδική αντοχή και ειδική δυσθραυστότητα .....	188
2.13.4	Δυσθραυστότητα σύνθετων υλικών .....	189
	Βιβλιογραφία .....	190

## Κεφάλαιο 3

## ΓΥΑΛΙ

3.1	Εισαγωγή .....	193
3.1.1	Ορισμός .....	196
3.1.2	Ιξώδες .....	201
3.2	Πρότυπα δομής για το γυαλί .....	207
3.2.1	Πρότυπο τυχαίου πλέγματος του Zachariasen .....	208
3.2.2	Πρότυπο κρυσταλλιτών των Parai-Koshits .....	213
3.2.3	Άποψη του μονομερούς ιόντος .....	216
3.2.4	Πρότυπο πεντάπτυχης συμμετρίας .....	218
3.2.5	Πρότυπο του μεικτού τεταμένου συμπλέγματος του Goodman .....	219
3.3	Πρόβλεψη σχηματισμού γυαλιού .....	221
3.3.1	Τύπος και αντοχή του δεσμού .....	222
3.3.2	Περιβάλλον ένταξης .....	222
3.3.3	Πρότυπο τεταμένου μεικτού πλέγματος .....	222
3.3.4	Κινητικές και η θεωρία του ελεύθερου όγκου .....	222
3.3.5	Ταχύτητα ψύξης .....	226
3.4	Μηχανικές ιδιότητες .....	229
3.4.1	Ομάδα 1η: Γυαλί χωρίς μικρορωγμές .....	230
3.4.2	Ομάδα 2η: Παρουσία μικρορωγμών και τρόπος διάδοσής τους .....	232
3.4.3	Χαρακτηρισμός των μικρορωγμών κατά Griffith και επιφανειακά χαρακτηριστικά της ψαθυρής θραύσης .....	234
3.4.4	Μηχανική Θραύσης .....	239
3.4.5	Πλαστική διαρροή στο γυαλί .....	242
3.4.6	Ομάδα 3η: Υπόθεση δημιουργίας μικρορωγμής .....	245
3.4.7	Διάδοση ρωγμής και στατική κόπωση .....	250
3.4.8	Μέθοδοι ενίσχυσης αντοχών του γυαλιού .....	256
3.4.9	Ανάλυση φορτίου-διάρκειας για σχεδιασμό του γυαλιού .....	261
3.5	Σύνδεση γυαλιού/μετάλλου και γυαλιού/κεραμικού .....	265
3.5.1	Τεχνικές διεργασίες .....	265
3.5.2	Θεωρίες σύνδεσης .....	270
3.5.3	Η διεπιφάνεια γυαλιού-μετάλλου .....	276
3.6	Ανθεκτικότητα .....	279
3.6.1	Γενικές παρατηρήσεις .....	280
3.6.2	Μηχανισμοί και νόμοι ταχύτητας .....	283
3.6.3	Μέθοδοι προστασίας από τη διάβρωση .....	288
	Βιβλιογραφία .....	290

## Κεφάλαιο 4 ΥΑΛΟΚΕΡΑΜΙΚΑ

4.1	Εισαγωγή .....	293
4.2	Τεχνικές διαδικασίες .....	295
4.3	Σχηματισμός πυρήνων κρυστάλλωσης .....	297
4.3.1	Ομοιογενής σχηματισμός πυρήνων .....	297
4.3.2	Ετερογενής σχηματισμός πυρήνων .....	301
4.3.3	Χαρακτηριστικά των καταλυτών σχηματισμού πυρήνων .....	303
4.4	Διαχωρισμός της υγρής φάσης στα συστήματα σχηματισμού γυαλιού .....	305
4.4.1	Η ύπαρξη «spinodal» περιοχής .....	307
4.5	Ανάπτυξη κρυστάλλων .....	313
4.5.1	Μηχανισμός ολισθήσεων κοχλία στην ανάπτυξη κρυστάλλου .....	316
4.5.2	Σφαιρουλιτική (spherulitic) και δενδριτική (dendritic) ανάπτυξη κρυστάλλων .....	317
4.6	Υαλοκεραμικά που προκύπτουν από έλεγχο των μεταβλητών της διεργασίας .....	318
4.6.1	Σύστημα $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ .....	319
4.6.2	Σύστημα $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .....	320
4.6.3	Σύστημα $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .....	321
4.6.4	Σύστημα $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .....	322
4.6.5	Μηχανικά κατεργάσιμα υαλοκεραμικά τετραπυριτικής μίκας .....	322
4.7	Ο ρόλος της παραμένουσας ναλώδους φάσης .....	325
4.7.1	Αντοχές .....	326
4.7.2	Έλεγχος της δυσθραυστότητας και της αντοχής σε θερμικά σοκ .....	327
4.7.3	Αντίσταση στη διάτμηση .....	328
4.7.4	Οπτική διαπερατότητα .....	330
	Βιβλιογραφία .....	330

## Κεφάλαιο 5 ΠΥΡΙΜΑΧΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΟΞΕΙΔΙΑ

5.1	Εισαγωγή .....	333
5.2	Πρόβλεψη σταθερότητας στο περιβάλλον .....	336
5.3	Ο ρόλος του ιοντικού δεσμού .....	342
5.3.1	Σχηματισμός μονομερών κατιόντων .....	342
5.3.2	Σχηματισμός μονομερών ανιόντων .....	343
5.3.3	Ηλεκτροστατική έλξη (Coulomb) .....	345

5.3.4	Ενέργειες πλέγματος .....	347
5.3.5	Εξίσωση Kapustinskii .....	351
5.3.6	Πόλωση .....	354
5.3.7	Γεωμετρικές απόψεις των ιοντικών δεσμών .....	355
5.4	Αλουμίνα, $Al_2O_3$ .....	360
5.4.1	Πηγές .....	360
5.4.2	Παρασκευή της αλουμίνας .....	361
5.4.3	Δομή .....	364
5.4.4	$\alpha$ -Αλουμίνα .....	366
5.4.5	Ακτίνες laser από ρουμπίνι – μια νέα χρήση ενός παλιού υλικού ...	372
5.4.6	$\beta$ -Αλουμίνα .....	373
5.4.7	$\gamma$ -Αλουμίνα .....	378
5.5	Ζιρκονία, $ZrO_2$ .....	379
5.5.1	Πηγές λήψης και παρασκευή .....	379
5.5.2	Δομή και σύνδεση .....	381
5.5.3	Μηχανικές ιδιότητες .....	383
5.5.4	Το πρόβλημα μετασχηματισμού της φάσης από μονοκλινή σε τετραγωνική .....	383
5.5.5	Σταθεροποιημένη ζιρκονία .....	387
5.5.6	Κεραμικοί χάλυβες: μια εφαρμογή για την αλλαγή φάσης της ζιρκονίας .....	393
5.6	Μαγνησία, $MgO$ .....	396
5.6.1	Πηγές και παρασκευή .....	396
5.6.2	Δομή και Αντοχές .....	398
5.6.3	Ο ρόλος των ανεπιθύμητων προσμείξεων στις εφαρμογές μαγνησίας .....	402
5.7	Ουρανία, $UO_2$ .....	407
5.7.1	Πηγές λήψης και παρασκευή .....	408
5.7.2	Δομή .....	408
5.7.3	Αντοχές .....	409
5.8	Τιτανία, $TiO_2$ .....	411
5.8.1	Βιομηχανική παραγωγή .....	411
5.8.2	Δομή .....	413
5.8.3	Σύνδεση .....	416
5.8.4	Μηχανικές ιδιότητες .....	416
5.9	Σπινέλιοι (Spinel) .....	417
5.9.1	Δομή .....	418
5.9.2	Παράγοντες που καθορίζουν το βαθμό αντιστροφής .....	420
5.9.3	Παρασκευή και δραστηκότητα .....	425

5.10 Οξειδία του τύπου $ABO_3$ .....	426
5.11 Φερρίτες .....	428
Βιβλιογραφία .....	430

## Κεφάλαιο 6

### ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΠΥΡΙΜΑΧΑ ΣΚΛΗΡΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

6.1 Εισαγωγή .....	433
6.2 Ενδιάμεσα καρβίδια και νιτρίδια των τάξεων 1 και 2 .....	435
6.2.1 Παρασκευή .....	435
6.2.2 Συνθέσεις και έλλειψη στοιχειομετρίας .....	436
6.2.3 Ιδιότητες και εφαρμογές .....	441
6.2.4 Εφαρμογές των σκληρών μετάλλων .....	445
6.2.5 Σύνδεση .....	450
6.3 Βορίδια .....	460
6.3.1 Δομές .....	462
6.3.2 Έλλειψη στοιχειομετρίας .....	467
6.3.3 Σύνδεση και σθένος .....	468
6.3.4 Παρασκευή .....	473
6.3.5 Ιδιότητες .....	474
6.3.6 Χρήσεις .....	477
6.4 Πυριτίδια .....	478
Βιβλιογραφία .....	481

## Κεφάλαιο 7

### ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

7.1 Ηλεκτρικές ιδιότητες των κεραμικών .....	483
7.1.1 Μονωτές .....	484
7.1.2 Μεταλλικοί αγωγοί .....	485
7.1.3 Ημιαγωγοί .....	486
7.1.4 Ημιαγωγοί άλματος (hopping conductors) .....	491
7.1.4.1 Μικρά και μεγάλα πολαρόνια .....	491
7.1.4.2 Ιδιότητες μικρών πολαρονίων .....	494
7.1.5 Ενώσεις με άτομα σε διαφορετικές οξειδωτικές βαθμίδες .....	496
7.1.5.1 Κατάταξη .....	496
7.2 Αταξίες δομής σε ιοντικούς κρυστάλλους .....	497
7.2.1 Κενά πλέγματος και ενδιάμεσα άτομα .....	497



7.2.2 Σημειακές αταξίες τύπου Frenkel και Schottky .....	498
7.2.3 Σημειακές αταξίες που δημιουργούνται από την εισαγωγή ιόντων .....	500
7.2.4 Αγωγή ηλεκτρόνια και οπές σε ιοντικούς κρυστάλλους .....	502
7.2.5 Μη στοιχειομετρία σε ιοντικούς κρυστάλλους .....	503
7.2.6 Επίδραση της εισαγωγής ιόντων διαφορετικού σθένους σε μη στοιχειομετρικούς ιοντικούς κρυστάλλους .....	506
7.3 Διαγράμματα Brauwer .....	508
7.3.1 Διάγραμμα Brauwer για μη στοιχειομετρική φάση ~MX .....	509
7.4 Ηλεκτρική αγωγή σε μεικτούς αγωγούς .....	517
7.4.1 Ηλεκτρική αγωγή σε οξειδία .....	517
7.4.2 Κατάταξη των μεικτών αγωγών .....	519
7.4.3 Θερμοδυναμική θεώρηση των ηλεκτρονικών και ιοντικών φορέων φορτίου .....	519
7.4.4 Εξισώσεις κίνησης φορτισμένων σωματιδίων .....	522
7.5 Κεραμικά οξειδία με ιοντική ή/και ηλεκτρονική αγωγιμότητα .....	525
7.5.1 Οξειδία με δομή περοβσκίτη .....	525
7.5.2 Η δομή περοβσκίτη .....	527
7.5.3 Εφαρμογή της χημείας αταξιών σε οξειδία με δομή περοβσκίτη .....	529
7.5.4 Ιοντική αγωγιμότητα .....	534
7.5.5 Ηλεκτρονική αγωγιμότητα .....	536
7.5.6 Θερμική διαστολή .....	538
7.5.7 Άλλες δομές οξειδίων με ιοντική ή/και ηλεκτρονική αγωγιμότητα .....	541
7.5.7.1 Οξειδία με δομή φθορίτη (fluorite) και τις σχετικές με αυτήν δομές .....	541
7.5.7.1.1 Ηλεκτρολύτες με δομή πυρόχλωρου (pyrochlore), $A_2B_2O_7$ .....	542
7.5.7.1.2 Ηλεκτρολύτες που βασίζονται στη σύνθεση $Bi_2O_3$ .....	543
7.5.7.2 Άλλα οξειδία με δομές σχετικές με του περοβσκίτη .....	543
7.5.7.2.1 Συστήματα κεραμικών οξειδίων με δομή μπραουνμυλερίτη (brownmillerite), $A_2B_2O_5$ .....	545
7.6 Εφαρμογές κεραμικών με ηλεκτρικές ιδιότητες, κελιά καύσης (Fuel Cells) .....	546
7.6.1 Ιστορικά στοιχεία .....	546
7.6.2 Κελιά καύσης (Fuel Cells) .....	547
7.6.2.1 Δομή και είδη κελιών καύσης (Fuel Cells) .....	549
7.6.2.2 Αρχή λειτουργίας των κελιών καύσης (Fuel Cells) .....	551

7.7	Κελιά καύσης υψηλών θερμοκρασιών (SOFCs) .....	552
7.7.1	Αρχή λειτουργίας .....	552
7.7.2	Αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια .....	557
7.7.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των SOFCs .....	561
7.7.4	Απαιτήσεις υλικών .....	562
7.7.5	Κριτήρια επίδοσης και κόστους .....	564
7.7.6	Θερμοκρασίες λειτουργίας και επιλογή υλικών .....	565
7.7.6.1	Καθορισμός θερμοκρασιακών περιοχών λειτουργίας .....	565
7.7.7	Σχεδιασμός και λειτουργία SOFC .....	567
7.7.7.1	Κυλινδρικός ή αυλωτός σχεδιασμός .....	567
7.7.7.2	Μονολιθικός σχεδιασμός .....	570
7.7.7.3	Δομή ξεχωριστών κελιών σε σειρά .....	571
7.7.7.4	Κλασική επίπεδη δομή .....	572
7.8	Ηλεκτροκαταλύτες .....	573
7.9	Αισθητήρες ανίχνευσης .....	575
7.9.1	Αισθητήρες οξυγόνου αυτοκινητών (λ-αισθητήρες) .....	575
7.10	Αντλίες οξυγόνου .....	578
	Βιβλιογραφία .....	582
	Ευρετήριο .....	591