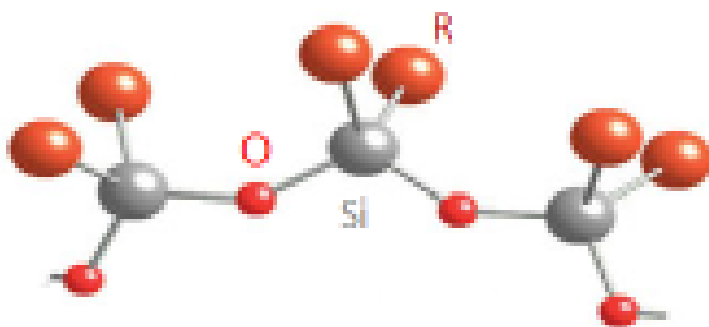


# Σιλικονούχα Πολυμερή:

Παρασκευή της

"Αναπηδητικής Μαστίχας"



---

---

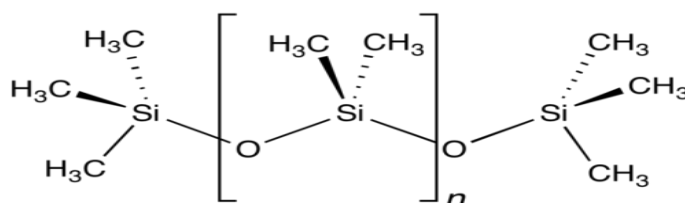
# Σιλικονούχα Πολυμερή: Παρασκευή της "Αναπηδητικής Μαστίχας"

---

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

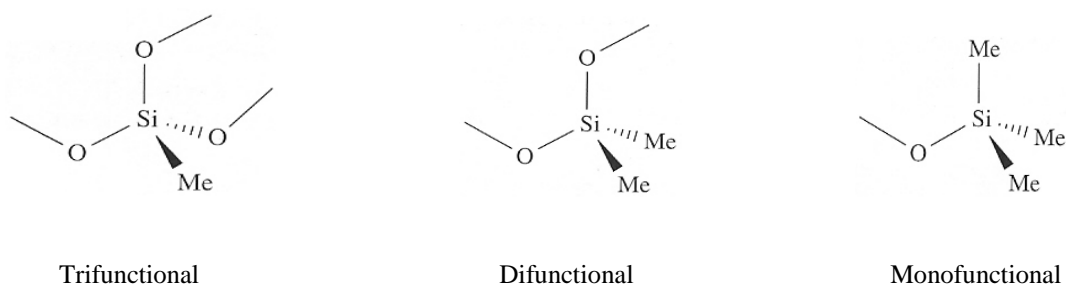
Οι σιλικόνες, ή πιο συγκεκριμένα τα οργανοπολυσιλοξάνια είναι πολυμερή υλικά, τα οποία περιέχουν πυρίτιο, οξυγόνο και οργανικές ομάδες. Οι μεθυλοσιλικόνες (οι οποίες ονομάζονται επίσης και διμεθυλοπολυσιλοξάνια, Polydimethylsiloxane -PDMS) είναι ίσως τα πιο σημαντικά μέλη αυτής της τάξης των υλικών. Αντιπροσωπευτική δομή μιας μεθυλοσιλικόνης είναι το λάδι σιλικόνης, σχήμα 1



Σχήμα 1. Δομή μιας αντιπροσωπευτικής μεθυλοσιλικόνης

Ο σχηματισμός αυτών των πολυμερών χαρακτηρίζεται από το είδος της σύνδεσης της ομάδας Si-O. Υπάρχει η δυνατότητα τριών τέτοιων ειδών σύνδεσης όπως

φαίνεται στο σχήμα 2.



**Σχήμα 2.** Τρόπος σύνδεσης της ομάδας Si-O

Οι μη οργανικές ομάδες είναι γνωστές ως **functionalities**. Η ομάδα R μπορεί να είναι μια από τις οργανικές ομάδες όπως μεθύλιο, αιθύλιο, φαινύλιο, ή βινύλιο. Η αναλογία των difunctional προς monofunctional ομάδων επηρεάζει το μήκος της αλυσίδας του πολυμερούς (π.χ. το μέγεθος του n στο σχήμα 1). Τα υλικά αυτά ονομάζονται σαν παράγωγα του δισιλοξανίου,  $\text{H}_3\text{Si-O-SiH}_3$ . Έτσι η ένωση  $(\text{CH}_3)_3\text{Si-O-Si}(\text{CH}_3)_3$  ονομάζεται εξαμεθυλοδισιλοξάνιο. Τα πολυμερή αναφέρονται συχνά ως διοργανοπολυσιλοξάνια. Trifunctional ομάδες χρησιμοποιούνται για τον σχηματισμό διασταυρωμένων δομών, οι οποίες είναι γνωστές ως ρητίνες πυριτίου.

Ο όρος "σιλικόνη" χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Friedrich Wohler (περισσότερος γνωστός από το γεγονός ότι, είναι αυτός που απέρριψε τη θεωρία του οργανικού βιταλισμού) το 1857. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή χημικών ενώσεων που είχαν τον εμπειρικό τύπο  $\text{R}_2\text{SiO}$ , σε αναλογία με τις οργανικές ενώσεις που ονομάζονται κετόνες,  $\text{R}_2\text{CO}$ , όπου R είναι μια οργανική ομάδα. Οι σιλικόνες όμως δεν έχουν σχεδόν καθόλου κοινά χαρακτηριστικά με τις κετόνες, και οι διαφορές μεταξύ αυτών των δύο τύπων ενώσεων δείχνουν επίσης τη βασική διαφορά μεταξύ της χημείας του πυριτίου και του άνθρακα. Ο άνθρακας παρουσιάζει μεγάλη τάση να σχηματίζει  $\pi$ -δεσμούς και οι κετόνες έχουν τη δομή  $\text{RR}'\text{C}=\text{O}$ , με ένα διπλό δεσμό μεταξύ του ατόμου του άνθρακα και του οξυγόνου. Γενικά είναι απλές μοριακές ενώσεις. Το πυρίτιο από την άλλη μεριά δεν εμφανίζει αυτήν την τάση, και οι δεσμοί  $\pi$ (p-p) μεταξύ δύο ατόμων πυριτίου ή μεταξύ ενός ατόμου πυριτίου με κάποιο άτομο άλλου στοιχείου είναι σχετικά ασταθείς και ανακαλύφθηκαν μόλις τα μέσα του 1970.

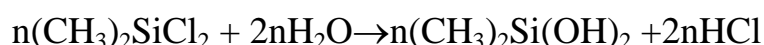
Παρόλα αυτά είναι δυνατόν να σχηματιστεί ένα δεύτερο είδος  $\pi$ -δεσμού. Το πυρίτιο, αντίθετα με τον άνθρακα, έχει κενά d-τροχιακά χαμηλής ενέργειας, που μπορούν να επικαλυφθούν αποτελεσματικά με συμπληρωμένα p τροχιακά άλλων

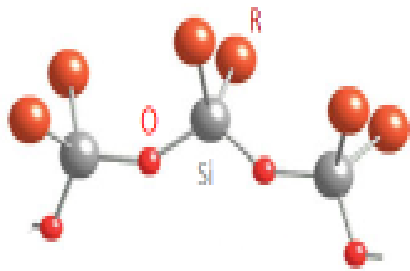
στοιχείων, όπως αζώτου, οξυγόνου ή φθορίου. Η ύπαρξη αυτού του τύπου δεσμού π(p-d) αποδεικνύεται, πρώτον από τα μήκη δεσμών που είναι εμφανώς μικρότερα από τα αναμενόμενα, λαμβάνοντας υπ' όψιν και την ηλεκτραρνητικότητα των στοιχείων, και δεύτερον από τις ασυνήθιστες γωνίες δεσμών που παρατηρούνται σε πολλές ενώσεις. Μολονότι έχουν δοθεί και άλλες εξηγήσεις γι' αυτά τα φαινόμενα η ουσία είναι ότι το πυρίτιο σχηματίζει ισχυρότατους "απλούς" δεσμούς με το οξυγόνο ( $466\text{KJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), κάτω από πολλές και διάφορες συνθήκες.

Το πιο συνηθισμένο αντιδραστήριο που χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό μεθυλο-πυριτιούχων πολυμερών είναι το διχλωροδιμεθυλοσιλάνιο,  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ . Η ένωση αυτή παρασκευάζεται βιομηχανικά σε τεράστιες ποσότητες με την επίδραση  $\text{CH}_3\text{Cl}$  σε σκόνη πυριτίου παρουσία ενός καταλύτη χαλκού στους  $250\text{-}300\text{ }^\circ\text{C}$ . Το μίγμα που σχηματίζεται αποτελείται από τις ενώσεις  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$ ,  $(\text{CH}_3)\text{SiCl}_3$ ,  $\text{SiCl}_4$ , και από μερικές άλλες σε μικρότερο ποσοστό. Ο διαχωρισμός του μίγματος γίνεται πολύ προσεκτικά με κλασματική απόσταξη. Το διχλωροδιμεθυλοσιλάνιο,  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$  είναι χρήσιμη πρώτη ύλη για δύο λόγους:

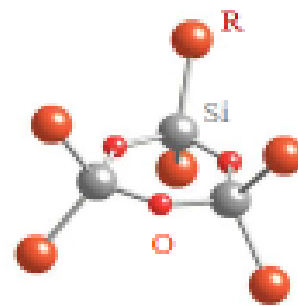
1. Οι δεσμοί Si-Cl υδρολύονται εύκολα, κάνοντας την ένωση πολύ δραστική
2. Η ένωση είναι difunctional, επειδή υπάρχουν δυο άτομα χλωρίου. Συνεπώς η αλυσίδα μπορεί να αυξηθεί σε δυο κατευθύνσεις, έχοντας σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό πολυμερών με μεγάλο μοριακό βάρος.

Τα οργανοπολυσιλοξάνια παρασκευάζονται, σε βιομηχανικό επίπεδο, με την υδρόλυση του επιλεγμένου χλωροσιλανίου. Έτσι η υδρόλυση του  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$  σε κατάλληλες συνθήκες, δίνει την αντίστοιχη σιλανόλη, και υδροχλώριο. Το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό των σιλανολών, είναι η ευκολία με την οποία συμπυκνώνονται δίνοντας πολυμερή σιλοξανίων, όπως φαίνεται στην παρακάτω σειρά αντιδράσεων.





Σχήμα 3. (α)



Σχήμα 3. (β)

Τα πολυσιλοξάνια που σχηματίζονται αποτελούν μίγμα κυκλικών ενώσεων, σχήμα 3 (β) (όπου  $z=3,4,5$  κλπ) και ενώσεων ανοικτής αλυσίδας που καταλήγουν σε ομάδες υδροξυλίου, σχήμα 3 (α). Κατά τη βιομηχανική παρασκευή των σιλικονών, σχηματίζονται οι κυκλικές ενώσεις με καλή απόδοση, πραγματοποιώντας την υδρόλυση σε αραιό αιθερικό διάλυμα και στη συνέχεια απομονώνονται και καθαρίζονται με κλασματική απόσταξη. Η κυκλική ένωση (τις περισσότερες φορές χρησιμοποιείται το τετραμερές) ακολούθως πολυμερίζεται στο γραμμικό πολυμερές, με μια διαδικασία που ονομάζεται ισορρόπηση (equilibration). Ισορρόπηση κυκλικών σιλοξανίων είναι η διαδικασία κατά την οποία οι ομάδες Si-O σπάνε συνεχώς και επανασχηματίζονται, μέχρι που το σύστημα φθάνει σε μια κατάσταση ισορροπίας στην πιο σταθερή θερμοδυναμική μορφή. Σε αυτή τη διαδικασία, χρησιμοποιείται απλή θέρμανση ή πιο συχνά όξινη ή βασική κατάλυση.

Το μήκος της αλυσίδας του πολυμερούς μπορεί να ελεγχθεί προσθέτοντας  $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$  (μια ένωση με μια μόνο δραστική ομάδα, ονομαζόμενη endblocker) στο αντιδρών μίγμα. Παρουσία αυτής της ένωσης οι αλυσίδες καταλήγουν με την ομάδα  $-\text{OSi}(\text{CH}_3)_3$  (σχήμα 1).

Οι σιλικόνες μπορεί να παρασκευαστούν έτσι ώστε να έχουν μεγάλο εύρος στο ιξώδες, στις λιπαντικές ιδιότητες και στη δραστηριότητα. Χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στη χημική βιομηχανία, στα βερνίκια αυτοκινήτων, στα καλλυντικά, στα στεγανωτικά, στους ηλεκτρικούς μονωτές υψηλής θερμοκρασίας, στις φλάντζες, στις αντιαφριστικές ουσίες, στα χρώματα υψηλών θερμοκρασιών, στα ελαστικά, στα λιπαντικά και γενικά σε πολλά άλλα πολυμερή. Η σπονδυλική στήλη όλων των πολυμερών είναι η πολύ σταθερή σειρά  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ . Η σειρά αυτή δίνει στις σιλικόνες μεγάλη θερμική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των  $500^\circ\text{F}$ ) καθώς επίσης και ελαστικότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των  $-110^\circ\text{F}$ ). Οι υδρόφοβες οργανικές ομάδες προσδίδουν αυτήν

την ιδιότητα στο πολυμερές. Σιλκόνες μεγάλης καθαρότητας βρίσκουν εφαρμογή στην ιατρική σε τομείς όπως, στις ελαστικές πυριτιούχες αρθρώσεις δακτύλων για τους ασθενείς που υποφέρουν από αρθριτικά, σε μοσχεύματα που ακολουθούν ριζική μαστεκτομή, σε υποδερμικές βελόνες οι οποίες λιπαίνονται με πυριτιούχα υγρά κάνοντας έτσι ανώδυνη την εισαγωγή τους, καθώς επίσης και πυριτιούχα ελαστικά καλύμματα τα οποία εγκλείουν μοσχεύματα όπως βηματοδότες και αντλίες εκχύσεως.

Σκοπός αυτού του πειράματος είναι η μελέτη της χημείας του Si, παρασκευάζοντας bouncing putty "αναπηδητική μαστίχα", ένα πολυμερές σιλκόνης, υδρολύοντας  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$ . Το λαμβανόμενο σιλοξάνιο διαθέτει ελεύθερες ομάδες υδροξυλίου και θα διασταυρωθεί (cross-linked) χρησιμοποιώντας βορικό οξύ. Το οξύ  $\text{B}(\text{OH})_3$  διαθέτει τρεις δραστικές ομάδες, υδροξύλια, και παρουσία του σιλοξανίου σε κατάλληλες συνθήκες σχηματίζει σειρές ατόμων  $-\text{Si}-\text{O}-\text{B}-$ , που έχουν σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός ιδιόμορφου τύπου ελαστικού (bouncing putty). Αυτό το είδος του ελαστικού συναντάται στο εμπόριο σε διάφορα χρώματα λόγω προσθήκης χρωστικών ουσιών.

### **Προϋπάρχουσα γνώση**

Αντιδράσεις οξέων – βάσεων Lewis

## **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **Υποδείξεις για την ασφάλεια στο εργαστήριο**

**Διχλωροδιμεθυλοσιλάνιο** (CAS No. 75-78-5): Η ένωση αυτή είναι επικίνδυνη σε περίπτωση κατάποσης, εισπνοής ή απορρόφησης από το δέρμα. Είναι εξαιρετικά καταστροφική για τους ιστούς των βλεννογόνων μεμβρανών και την ανώτερη αναπνευστική οδό, τα μάτια, και το δέρμα. μεμβράνες. Αντιδρά βίαια με το νερό. ORL - MUS LD50: 6,068 mg/kg.

**Διαιθυλαιθέρας** (CAS No 60-29-7): Ο διαιθυλαιθέρας είναι ένας υπερβολικά εύφλεκτος διαλύτης. Οι ατμοί «έρπουν» και μπορούν να «ταξιδέψουν» σημαντικές αποστάσεις αποτελώντας σημαντικές πηγές ανάφλεξης. Με έκθεση σε υγρασία έχει την τάση να σχηματίζει υπεροξειδία, τα οποία μπορεί να είναι εκρηκτικά. Ο διαλύτης είναι ένα δραστικό ναρκωτικό. Η εισπνοή μπορεί να προκαλέσει βήχα, πόνο στο στήθος, δυσκολία κατά την αναπνοή, ζάλη, νωθρότητα. Επαφή με τα μάτια ενδέχεται να προκαλέσει, δάκρυα, κοκκίνισμα. Η παρατεταμένη ή επαναλαμβανόμενη έκθεση του δέρματος προκαλεί απολίπανση και δερματίτιδα. Η κατάποση μπορεί να προκαλέσει αρρυθμίες. ORL-RATLD50: 1215mg/Kg. ORL-MANLDLo: 260mg/Kg.

**Βορικό οξύ:** (CAS No. 10043-35-3): Η ένωση αυτή γενικά δεν θεωρείται επικίνδυνη, είναι όμως τοξική σε περίπτωση κατάποσης. ORL-MUS LD50: 5,14g/kg. Έχει επέλθει θάνατος σε ενήλικες από κατάποση 5-20g βορικών αλάτων.

**Όξινο ανθρακικό νάτριο** (CAS No. 144-55-8): Η ένωση αυτή γενικά δεν θεωρείται επικίνδυνη. Θα πρέπει όμως να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης. Η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει διαταραχές του γαστρεντερικού. ORL-MUS LD50: 4.220 mg/kg

**Θειϊκό νάτριο άνυδρο** (CAS No. 7757-82-6): Η ένωση αυτή γενικά δεν θεωρείται επικίνδυνη. Θα πρέπει όμως να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης. ORL-MUS LD50: 5.989 mg/kg

### Χημικά Δεδομένα

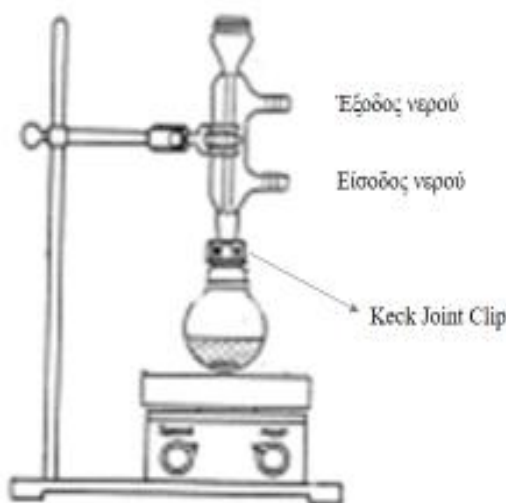
**Ένωση:** Διχλωροδιμεθυλοσιλάνιο

M.B.	Ποσότητα	mmol	σ.τ. (°C)	σ.ζ. (°C)	Πυκνότητα
129,06	3ml	24,72	-16	70	1,064

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

**Σημείωση:** Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται στην απαγωγό εστία.

Τοποθετείστε 6 ml διαιθυλαιθέρα σε μια σφαιρική εσφυρισμένη φιάλη των 100ml, όπου έχει εισαχθεί ένας μαγνήτης ανάδευσης. Χρησιμοποιώντας σифώνιο μεταφοράς προσθέστε 3ml διχλωροδιμεθυλοσιλάνιου στον αιθέρα - διαλύτη και προσαρμόστε ένα ψυκτήρα στη φιάλη.



**Σημείωση:** Το διχλωροδιμεθυλοσιλάνιο αντιδρά αμέσως με την υγρασία και σχηματίζει αέριο υδροχλώριο. Πραγματοποιήστε γρήγορα τη μεταφορά.

Τοποθετείστε το σύστημα πάνω σε μια θερμαντική πλάκα, και με ανάδευση (χωρίς θέρμανση) προσθέστε **στάγδην** 6ml νερού, χρησιμοποιώντας μια πιπέτα pasteur από το πάνω μέρος του ψυκτήρα.

**Σημείωση:** Σε αυτό το στάδιο της υδρόλυσης εκλύεται αέριο υδροχλώριο. Η προσθήκη πρέπει να γίνει αργά στην αρχή της αντίδρασης, διαφορετικά θα πραγματοποιηθεί βίαιη έκλυση υδροχλωρίου. Θα παρατηρήσετε ότι ο αιθέρας θερμαίνεται σε θερμοκρασία βρασμού. Αυτός εξ' άλλου είναι ο λόγος που χρησιμοποιείτε τον ψυκτήρα.

Όταν η προσθήκη του νερού έχει ολοκληρωθεί, αφήστε το μίγμα υπό ανάδευση



για 10 ακόμα λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά αφαιρέστε τον ψυκτήρα από την φιάλη. Χρησιμοποιώντας πιπέτα pasteur, απομακρύνετε προσεκτικά το μεγαλύτερο μέρος της κατώτερης υδατικής στοιβάδας. Η υδατική στοιβάδα πετιέται. Επανασυνδέστε τη φιάλη με τον ψυκτήρα και προσθέστε στάγδην διάλυμα  $\text{NaHCO}_3$  10% από το πάνω μέρος του ψυκτήρα, ενώ το διάλυμα είναι υπό ανάδευση.

**Σημείωση:** Αυτό το στάδιο πραγματοποιείται για την εξουδετέρωση του οξέος που έχει απομείνει στο αιθερικό διάλυμα. Καθώς πραγματοποιείται η εξουδετέρωση, παρατηρείται βίαιη έκλυση διοξειδίου του άνθρακα.

Μόλις σταματήσει ο σχηματισμός των φυσαλίδων στο διάλυμα, απομακρύνετε τον ψυκτήρα. Χρησιμοποιώντας την πιπέτα pasteur από το προηγούμενο στάδιο, διαχωρίστε την κατώτερη υδατική φάση. Ελέγξτε αυτή τη φάση με χρησιμοποιώντας πεχαμετρικό χαρτί. Επαναλάβετε το στάδιο της εξουδετέρωσης μέχρις ότου η υδατική φάση να μην είναι πλέον όξινη. Στο τέλος ξεπλύνετε το αιθερικό διάλυμα με 6ml νερού. Διαχωρίστε και απορρίψτε την υδατική φάση.

Στη φιάλη που περιέχει την αιθερική στιβάδα προσθέστε άνυδροθειϊκό νάτριο τόσο, όσο να απομακρύνθει όλο το νερό που περιέχεται. Σε αυτό το σημείο θα παρατηρήσετε ότι το άνυδροθειϊκό νάτριο από σκόνη γίνεται «πέτρα». Απομακρύνετε γρήγορα τοθειϊκό νάτριο χρησιμοποιώντας χωνί διήθησης με πορώδες. Συλλέξτε το απαλλαγμένο υγρασίας διάλυμα σε μια προζυγισμένη κωνική φιάλη 100ml. Ξεπλύνετε το χωνί διήθησης με περίπου 3ml αιθέρα. Συμπυκνώστε το αιθερικό διάλυμα (χρησιμοποιείστε υδρόλουτρο) μέσα στον απαγωγό.

### Απομόνωση προϊόντος

Προσδιορίστε το βάρος του διαυγούς σιλικονούχου ρευστού που απέμεινε στη κωνική φιάλη. Προσθέστε βορικό οξύ σε ποσοστό 5% του βάρους του κάπως παχύρρευστου υγρού, αναδεύοντας συνεχώς με μια γυάλινη σπάτουλα. Συνεχίστε την ανάδευση για πέντε λεπτά. Θερμάνετε το μίγμα στους  $170-180^{\circ}\text{C}$  σε θερμαντική πλάκα, μέχρι να σχηματισθεί μια κολλώδης ουσία. Αυτό συνήθως λαμβάνει χώρα μετά από 5 λεπτά περίπου. Αφήστε το προϊόν να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου.

Σχολιάστε ερμηνεύστε πιθανές παρατηρήσεις.

Απομακρύνετε το προϊόν από την φιάλη και τυλίξετε το, δημιουργώντας ένα μπαλάκι. Αν το προϊόν είναι κατά κάποιο τρόπο εύθραυστο, συνεχές ζύμωμα θα δώσει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά "μαστίχας".

Πραγματοποιείτε τις παρακάτω δοκιμές στο προϊόν:

1. Το μπαλάκι οφείλει να αναπηδά πολύ σε σκληρή επιφάνεια.
2. Τραβώντας το απότομα σπάει σε δυο κομμάτια.
3. Τραβώντας το σιγά-σιγά θυμίζει μαστίχα.
4. Όταν τοποθετηθεί σε σκληρή επιφάνεια μετά από μερικές ώρες γίνεται επίπεδο, σαν ρευστό που έχει χυθεί.
5. Εάν η δοκιμή (4) γίνει πάνω σε εφημερίδα, προσεκτική απομάκρυνση της επίπεδης πια "μαστίχας" φανερώνει το είδωλο της εικόνας που επικάλυπτε.

Συνοπτικά τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας είναι τα εξής:

1. Υδρόλυση αιθερικού διαλύματος  $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$  (χρήση ψυκτήρα)
2. Απομάκρυνση υδατικής στοιβάδας
3. Εξουδετέρωση αιθερικής στοιβάδας με δ.  $\text{NaHCO}_3$  10% (χρήση ψυκτήρα)
4. Απομάκρυνση υδατικής στοιβάδας και έλεγχος PH
5. Έκπλυση αιθερικής στοιβάδας με  $\text{H}_2\text{O}$
6. Απομάκρυνση υδατικής στοιβάδας
7. Προσθήκη  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  στην αιθερική στοιβάδα
8. Διήθηση σε **προζυγισμένη** κωνική φιάλη των 100ml
9. Εξάτμιση αιθερικής στοιβάδας (στον απαγωγό)
10. Προσθήκη  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . Απομόνωση προϊόντος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βασική βιβλιογραφία:

Shriver & Atkins, 2010, *Inorganic Chemistry*, fifth edition, Oxford University Press, pp.350-374

Κεφάλαιο «The Group 14 elements» σελ. 350-374. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στο υποκεφάλαιο «Simple compounds of silicon with oxygen»

### Επιπλέον βιβλιογραφία:

Κατάκης, Δ., Μεθενίτης, Κ., Μητσοπούλου, Χ., Πνευματικάκης, Γ., 2002, *Ανόργανη Χημεία. Τα στοιχεία*, Αθήνα, Παπαζήση

Butler, Harrod, 1989, *Ανόργανη Χημεία. Αρχές και εφαρμογές*, μετ., Κουτσολέλος, Α., Αθήνα, Κωσταράκη

Huheey, J., 1993, *Ανόργανη Χημεία. Αρχές δομής και δραστικότητα*, μετ., Χατζηλιάδης, Ν., Καμπανός, Θ., Περλεπές, Σ., 3η έκδοση, Αθήνα, Ίων

Housecroft, C. E., Sharpe, A. G., 2012, *Inorganic Chemistry*, Fourth edition, Pearson Education

King, R., B., 1995, *Inorganic Chemistry of main group elements*, USA VCH publishers, Inc.

Massey, A., G., 1990, *Main Group Elements*, University of Leicester, Ellis Horwood

Mark J. E., Allcock H. R., West R., (2005), *Inorganic polymers*, Second edition, New York, Oxford University Press, pg 154-162

[www.webelements.com](http://www.webelements.com)