



ΡΑΦΑΗΛ ΚΟΓΙΟΣ
ΑΕΜ 5123

ΠΟΛΥΧΡΩΜΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΔΙΑΜΑΝΤΙΩΝ -
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΚΟΠΕΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024





ΡΑΦΑΗΛ ΚΟΓΙΟΣ

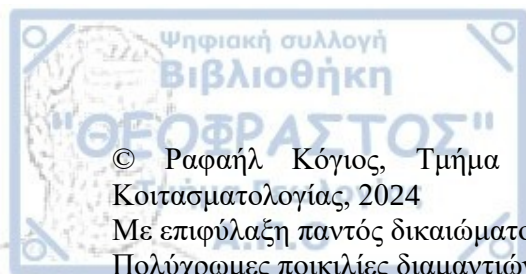
ΠΟΛΥΧΡΩΜΕΣ ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ ΔΙΑΜΑΝΤΙΩΝ -
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΚΟΠΕΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα

Παπαδοπούλου Λαμπρινή, Καθηγήτρια

© Ραφαήλ Κόγιος, 2024
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



© Ραφαήλ Κόγιος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Πολύχρωμες ποικιλίες διαμαντιών- Ιδιότητες και κοπές – *Διπλωματική Εργασία*

© Stefanos D. Papadopoulos, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2019

All rights reserved.

Colored gem diamonds – Properties and cuts – *Bachelor Thesis*

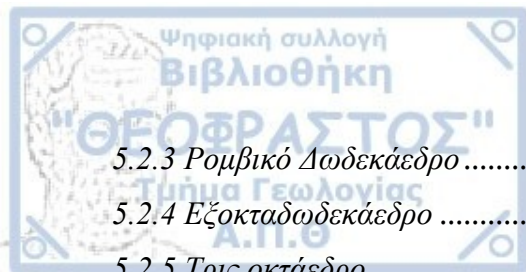
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
1. Εισαγωγή.....	3
1.1 Γενικά.....	3
1.2 Πρόλογος - Αντικείμενο εργασίας και βασικοί στόχοι.....	3
2. Χρώματα διαμαντιών.....	4
2.1 Εισαγωγή στα χρώματα διαμαντιών	4
2.1.1 Η έννοια του χρώματος των διαμαντιών	5
2.1.2 Οι τρεις ιδιότητες των χρωμάτων	6
2.1.3 Εκτίμηση της αξίας.....	6
2.1.4 Φασματοσκοπία απορρόφησης.....	7
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το χρώμα του διαμαντιού	8
2.2.1 Χημικές προσμίξεις.....	8
2.2.2 Δομικές ατέλειες	9
2.3 Μέθοδοι βαθμονόμησης και ταξινόμησης χρωμάτων διαμαντιών	11
3. Τύποι διαμαντιών	14
3.1 Εισαγωγή στους τύπους διαμαντιών.....	14
3.2 Η σημασία της ταξινόμησης των διάφορων τύπων διαμαντιών	15
3.3 Ταξινόμηση τύπων διαμαντιών	16
3.3.1 Τι μαρτυρά ο τύπος ενός διαμαντιού	17
3.3.2 Η σχέση τύπου με το χρώμα και την επεξεργασία διαμαντιού.....	19
3.3.3 Η σχέση τύπου με τα συνθετικά διαμάντια.....	20
3.4 Μέθοδοι διαφοροποίησης μεταξύ των τύπων διαμαντιών	21
4. Κοπές Διαμαντιών	26
4.1 Οδηγός για τις κοπές διαμαντιών.....	26
4.2 Κοπές διαμαντιών - Οι τύποι και τα χαρακτηριστικά τους	27
4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την κοπή ενός διαμαντιού.....	29
5. Δομή διαμαντιού.....	35
5.1 Κρυσταλλική δομή.....	35
5.1.1 Τετράεδρο	35
5.2 Σχήματα κρυστάλλων διαμαντιών	39
5.2.1 Εξάεδρο.....	39
5.2.2 Οκτάεδρο.....	39

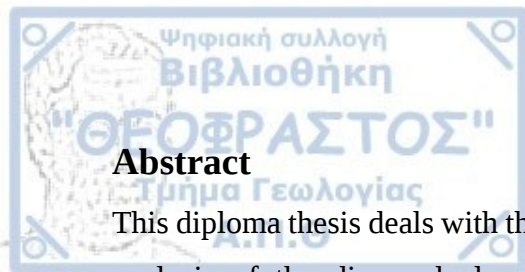


5.2.3 Ρομβικό Δωδεκάεδρο	40
5.2.4 Εξοκταδωδεκάεδρο	40
5.2.5 Τρις οκτάεδρο	41
5.2.6 Τετράκισ εξάεδρο	41
6. Επίλογος	42
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	43



Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τις διάφορες ποικιλίες πολύχρωμων διαμαντιών που υπάρχουν, καθώς πραγματοποιείται και μια λεπτομερή ανάλυση των στοιχείων των διαμαντιών που προσδίδουν το εκάστοτε ξεχωριστό χρώμα. Παρουσιάζονται επιπλέον οι κύριες ιδιότητες και κοπές των διαμαντιών και τα βασικά χαρακτηριστικά τους, μέσω μιας περιληπτικής επεξήγησης της φύσης, της χημείας και της κρυσταλλικής δομής των διαμαντιών.



Abstract

This diploma thesis deals with the many color varieties of diamonds that exist, while a detailed analysis of the diamond elements and characteristics that give each individual color is presented. In addition, the main diamond qualities, cuts and their basic characteristics are explored, through a detailed explanation of their nature, chemistry and crystal structure.



1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

1.2 Πρόλογος - Αντικείμενο εργασίας και βασικοί στόχοι

Το διαμάντι συνιστά μια στερεή μορφή του άνθρακα και έχει κυβική κρυσταλλική δομή. Ένα χημικά καθαρό και δομικά τέλειο διαμάντι είναι απόλυτα διαφανές χωρίς απόχρωση ή χρώμα. Ωστόσο, στην πραγματικότητα σχεδόν κανένα φυσικό διαμάντι σε μέγεθος πολύτιμου λίθου δεν είναι απολύτως τέλειο.

Το χρώμα ενός διαμαντιού μπορεί να επηρεαστεί από χημικές προσμίξεις ή/και δομικά ελαττώματα στο κρυσταλλικό του πλέγμα. Ανάλογα με την απόχρωση και το πόσο έντονο μπορεί να είναι το χρώμα ενός διαμαντιού, μπορεί είτε να μειωθεί είτε να αυξηθεί η αξία ενός διαμαντιού. Για παράδειγμα, τα περισσότερα λευκά διαμάντια έχουν μειωμένη τιμή, ενώ τα έντονα ροζ ή μπλε διαμάντια μπορεί να είναι εξαιρετικά πιο πολύτιμα. Από όλα τα χρωματιστά διαμάντια, τα κόκκινα αποτελούν τα πιο σπάνια και πιο πολύτιμα.

Βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των διάφορων πολύχρωμων ποικιλιών διαμαντιών, μέσω της ταυτόχρονης ανάλυσης των στοιχείων και των ιδιοτήτων τους που είναι υπεύθυνα για το κάθε ξεχωριστό χρώμα.

Τα βασικά σημεία – στόχοι της πτυχιακής αυτής είναι η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τα διαφορετικά χρώματα των διαμαντιών και πως αυτοί αξιολογούνται, η διαφοροποίηση μεταξύ συνθετικών και φυσικών διαμαντιών με βάση τα διάφορα χαρακτηριστικά τους, η αξιολόγηση του αντίκτυπου που έχουν οι διαφορετικές κοπές διαμαντιών στην εμφάνιση και αξία τους και τέλος να πραγματοποιηθεί έρευνα στις κρυσταλλογραφικές ιδιότητες και τα δομικά ελαττώματα των διαμαντιών

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Παπαδοπούλου Λαμπρινή για τις υποδείξεις, το ενδιαφέρον, τα σχόλια και την συνολική υποστήριξη κατά την διάρκεια όλων των σταδίων της παρούσας εργασίας.

2. Χρώματα διαμαντιών

2.1 Εισαγωγή στα χρώματα διαμαντιών

Το χρώμα αποτελεί μια φυσική ιδιότητα που έχει σημαντική επιρροή στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε οπτικά τον κόσμο γύρω μας και σε συνδυασμό με άλλες ιδιότητες, καθορίζει την άποψή μας για μια ποικιλία αντικειμένων. Η ικανότητα ορισμένων αντικειμένων να απορροφούν ή να ανακλούν διαφορετικά μήκη κύματος στο ορατό φάσμα καθορίζει το χρώμα τους, όπως το αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι. Το ορατό φως περιλαμβάνει μήκη κύματος μεταξύ 390-760 nm, ξεκινώντας με μπλε αποχρώσεις στα μικρότερα μήκη κύματος και καταλήγοντας σε κόκκινες αποχρώσεις στα μεγαλύτερα μήκη κύματος (Hecht, 2002).

Το διαμάντι συνιστά μια στερεή μορφή του άνθρακα και έχει κυβική κρυσταλλική δομή. Η εσωτερική διάταξη των ατόμων άνθρακα, καθώς και η κρυσταλλική δομή του διαμαντιού είναι τα στοιχεία που το διαφοροποιούν από τα υπόλοιπα ορυκτά και το καθιστούν μοναδικό. Το χρώμα αποτελεί μια φυσική ιδιότητα του διαμαντιού που είναι αρκετά δύσκολο να χαρακτηριστεί και για τον λόγο αυτό λαμβάνει ιδιαίτερη και τακτική προσοχή κατά την μελέτη του από επιστήμονες στην βιομηχανία πολύτιμων λίθων. Το χρώμα των διαμαντιών λοιπόν καθορίζεται από διάφορα χαρακτηριστικά. Εξ ορισμού, ένα τέλειο άχρωμο διαμάντι δεν έχει πρόσθετα χημικά χαρακτηριστικά, έχει δομικά τέλεια μορφή και απολύτως κανένα χρώμα. Ωστόσο, η εύρεση ενός τέτοιου λίθου είναι σχεδόν αδύνατη, αν μάλιστα υπάρχει. Στην πραγματικότητα, το άζωτο που περιέχεται στα περισσότερα διαμάντια αποτελεί μια πρόσμιξη, ενώ το βόριο που αποτελεί αρκετά συνηθισμένο στοιχείο τους, αντικαθιστά άτομα άνθρακα με αποτέλεσμα να μεταβάλλει το χρώμα και την ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαμαντιού (Harlow, 1998).

Το διαμάντι είναι οπτικά πολύ ελκυστικό για τους περισσότερους ανθρώπους λόγω της υψηλής διασποράς, δηλαδή της ικανότητάς του να διαχωρίζει το ορατό φως σε πολλά διακριτά χρώματα. Είναι λοιπόν ένα πολύ καλό παράδειγμα αντικειμένου που αναλόγως με το χρώμα του μπορεί να είναι είτε πολύ περιζήτητο είτε λιγότερο. Για παράδειγμα, τα φυσικά διαμάντια με ροζ ή μπλε αποχρώσεις είναι ιδιαίτερα σπάνια και κατά συνέπεια πολύ περιζήτητα. Ωστόσο η συντριπτική πλειοψηφία των φυσικών διαμαντιών που εξορύσσονται είναι καφέ χρώματος και είναι λιγότερο περιζήτητα από τα αντίστοιχα λευκά (άχρωμα) (Collins et al., 2000).

2.1.1 Η έννοια του χρώματος των διαμαντιών

Τα χρώματα των διαμαντιών δημιουργούνται από προσμίξεις, από στοιχεία που συναντώνται μέσα στη σύσταση των πολύτιμων αυτών λίθων και δεν υπερβαίνουν το 1% της μάζας. Συγκεκριμένα, το είδος των στοιχείων είναι που μετατρέπει τους λίθους αυτούς σε κάτι τόσο εκθαμβωτικό.

Η ποικιλία των χρωμάτων που συναντώνται είναι πολυάριθμη, τα διάφορα χρώματα διαμαντιών που έχουν βρεθεί είναι: μπλε, ροζ, κίτρινο, πορτοκαλί, πράσινο, καφέ, γκρι, μωβ, βιολετί, λευκό και το πιο σπάνιο κόκκινο. Ωστόσο, όσο σπάνια και αν είναι τα χρωματιστά διαμάντια, αμιγείς ή μονόχρωμοι λίθοι είναι σχεδόν αδύνατο να βρεθούν. Η πλειοψηφία των χρωματιστών διαμαντιών είναι συνδυασμοί ορισμένων χρωμάτων και είναι γνωστά ως δευτερογενείς αποχρώσεις (secondary hues ή over-tones) (Tappert & Tappert, 2011).

Τα μοναδικά φυσικά διαμάντια που έχουν την ικανότητα να αλλάζουν προσωρινά το χρώμα τους είναι γνωστά ως διαμάντια χαμαιλέων (Chameleon diamonds). Οι πολύτιμοι αυτοί λίθοι δεν έχουν στην πραγματικότητα το δικό τους ξεχωριστό χρώμα, πωλούνται ωστόσο ως μια ξεχωριστή κατηγορία λόγω της μοναδικής τους ικανότητας να αλλάζουν από το ένα χρώμα στο άλλο. Το χρώμα των διαμαντιών αυτών μεταβάλλεται προσωρινά όταν εκτεθούν σε μια ήπια διαδικασία θέρμανσης ή όταν αφεθούν στο απόλυτο σκοτάδι για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα διαμάντια χαμαιλέων (Σχήμα 1) έχουν πάντα φθορισμό και το κυρίαρχο χρώμα τους είναι πάντα το κίτρινο, το πράσινο – καφέ ή το γκρι. Φυσικά σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να περιέχει και αποχρώσεις με διαφορετικούς συνδυασμούς των προαναφερθέντων χρωμάτων (Over-tones) (Margolese, 2020).



Σχήμα 1. Ένα διαμάντι χαμαιλέων σε διαφορετικά στάδια μιας διαδικασίας ήπιας θέρμανσης (Margolese, 2020).

2.1.2 Οι τρεις ιδιότητες των χρωμάτων

Ο ακριβής εντοπισμός των χρωμάτων που υπάρχουν μέσα σε ένα διαμάντι αποτελεί δύσκολο έργο για το μη εκπαιδευμένο μάτι. Ωστόσο, οι επαγγελματίες διαμαντιών χρησιμοποιούν συστηματικές μεθόδους για να αναγνωρίσουν με ακρίβεια τα διάφορα χρώματα που κρύβονται σε έναν πολύτιμο λίθο. Τα τρία βασικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση ενός χρώματος διαμαντιού είναι η απόχρωση, ο τόνος και ο κορεσμός.

- Η απόχρωση είναι η χροιά του χρώματος που βρίσκεται παρούσα στον πολύτιμο λίθο.
- Ο τόνος είναι το πόσο φωτεινό ή σκοτεινό εμφανίζεται το χρώμα.
- Ο κορεσμός είναι η ισχύς ή η αγνότητα – καθαρότητα του χρώματος.

Αυτά τα τρία χαρακτηριστικά μετρούνται και προσαρμόζονται προκειμένου να γίνει ο χαρακτηρισμός των διαμαντιών και να τους αποδοθεί ένας συγκεκριμένος βαθμός στην χρωματική κλίμακα (Tappert & Tappert, 2011).

2.1.3 Εκτίμηση της αξίας

Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αξίας των διαμαντιών είναι διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του χρώματός τους. Τα 3 χαρακτηριστικά που έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στην αξία είναι η σπανιότητα του χρώματος, η ένταση του χρώματος και το μέγεθος του διαμαντιού.

- Η σπανιότητα – Μερικά από τα χρωματιστά διαμάντια είναι πολύ πιο σπάνια από άλλα. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, το κίτρινο είναι σπάνιο, το μπλε είναι πολύ σπάνιο, το ροζ είναι εξαιρετικά σπάνιο και το κόκκινο είναι το πιο σπάνιο απ' όλα.



Σχήμα 2. Εξαιρετικά σπάνια χρωματιστά διαμάντια (Margolese, 2020).

- Η ένταση του χρώματος – Αν και ορισμένα χρώματα είναι πολύτιμα, το πόσο έντονο εμφανίζεται το χρώμα επηρεάζει σημαντικά την τιμή του διαμαντιού (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Διαφορετικές εντάσεις χρώματος πράσινων διαμαντιών (Margolese, 2020).

- Το μέγεθος των διαμαντιών – Εκτός από τον συνδυασμό χρωμάτων και την ένταση του χρώματος, το βάρος σε καράτια των διαμαντιών αυξάνει ή μειώνει σημαντικά την αξία τους (Σχήμα 4).

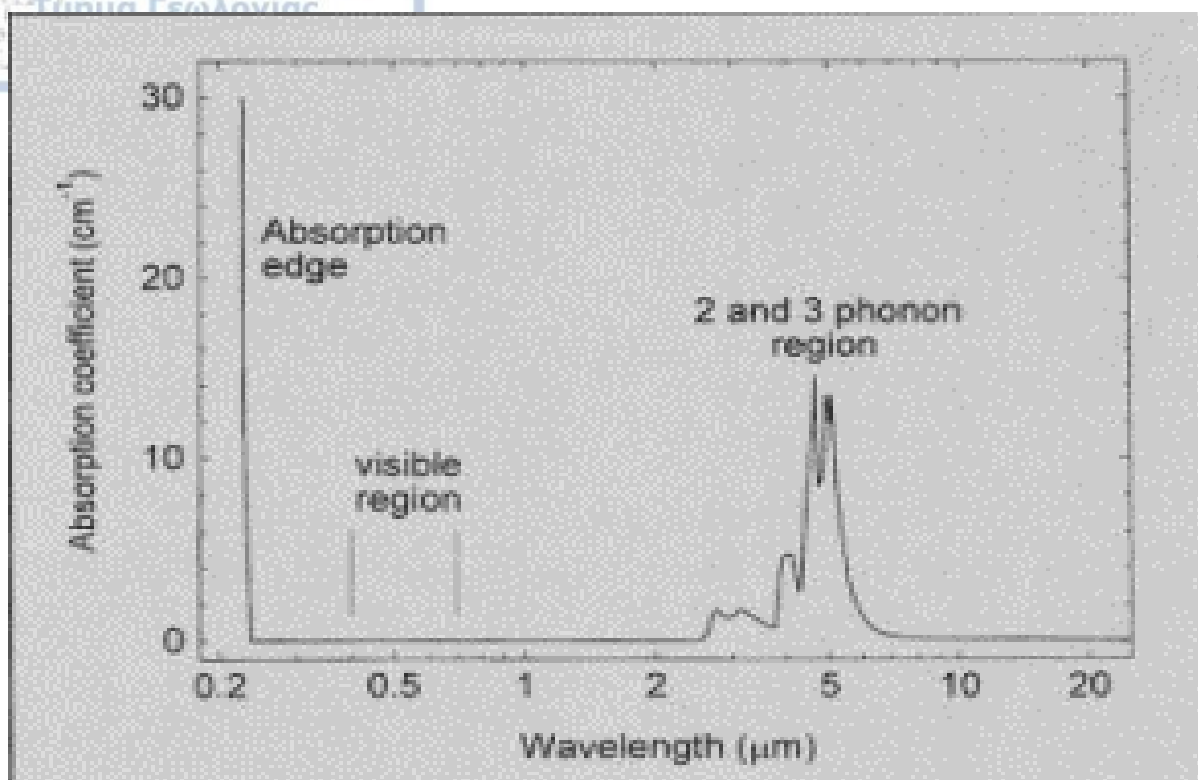


Σχήμα 4. Διάφορα μεγέθη διαμαντιών (Margolese, 2020).

Τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται παραπάνω μετρούνται και χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί και να ποσοτικοποιηθεί η αξία των διαμαντιών. Παρόλο που η αξία συνδέεται με την ζήτηση της αγοράς, τα διαμάντια θα παραμείνουν για πάντα τα ίδια. Το χρώμα τους δεν θα ξεθωριάσει ποτέ και η αξία τους δεν θα πέσει ποτέ. Τα διαμάντια είναι μερικά από τα λίγα μόνιμα πλούτη που έχουν απομείνει και συνεχίζουν να διατηρούν την αξία τους (Tappert & Tappert, 2011).

2.1.4 Φασματοσκοπία απορρόφησης

Προκειμένου να εντοπιστούν οι χημικές προσμίξεις και οι ποσότητες αυτών που εμπεριέχονται σε ένα διαμάντι, χρησιμοποιείται η φασματοσκοπία απορρόφησης. Αναφέρεται σε φασματοσκοπικές τεχνικές που μετρούν την απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ως συνάρτηση της συχνότητας ή του μήκους κύματος, κατά την αλληλεπίδρασή της με ένα δείγμα. Εάν ένα διαμάντι είναι έγχρωμο, σημαίνει πως απορροφά ορατό φως στην περιοχή μήκους κύματος μεταξύ 400 nm (ιώδες) έως 700 nm (κόκκινο) και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο το να παρουσιάζονται οι πληροφορίες αυτές γραφικά. Προκειμένου να εκτιμηθεί η οπτική εμφάνιση ενός διαμαντιού, θεωρείται ιδανικό να σχεδιαστεί ένα γράφημα του ποσοστού μετάδοσης φωτός ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Για μια πιο λεπτομερή ανάλυση ωστόσο είναι προτιμότερο το γράφημα να εμπεριέχει τον συντελεστή απορρόφησης ως συνάρτηση του μήκους κύματος, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 5 (Collins et al., 2000).



Σχήμα 5. Φάσμα απορρόφησης ενός φυσικού διαμαντιού (Bennet, et al., 2014)

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το χρώμα του διαμαντιού

2.2.1 Χημικές προσμίξεις

Το χρώμα των διαμαντιών καθορίζεται κατά κύριο λόγο από χημικές προσμίξεις, όπως το άζωτο και το βόριο στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός διαμαντιού, σε συνδυασμό με μικρής κλίμακας δομικές ανωμαλίες μεγέθους νανομέτρων. Αυτές οι προσμίξεις μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά της οπτικής μετάδοσης και απορρόφησης φωτός του διαμαντιού. Για παράδειγμα:

- Όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση του αζώτου (N) που βρίσκεται στην σύνθεση ενός διαμαντιού, τόσο πιο έντονη θα είναι η παρουσία μιας κίτρινης απόχρωσης (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Διαμάντια με κίτρινη απόχρωση, που προκύπτει από τα διαφορετικά επίπεδα αζώτου που εμπεριέχονται στην σύσταση του καθενός (Margolese, 2020).

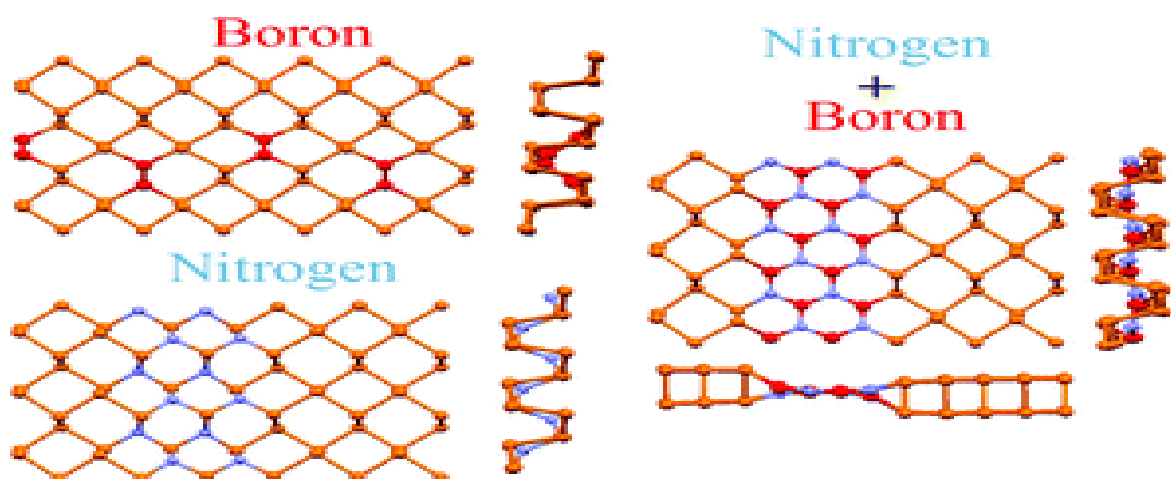
- Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του βορίου (B), τόσο πιο έντονη θα είναι η παρουσία μιας μπλε απόχρωσης (Σχήμα 7).



Σχήμα 7. Διαμάντια με μπλε απόχρωση, που προκύπτει από τα διαφορετικά επίπεδα βορίου που εμπεριέχονται στην σύσταση του καθενός (Margolese, 2020).

Το άχρωμο διαμάντι, από την άλλη, μεταδίδει το υπεριώδες φως και είναι αυτή του η ιδιότητα ακριβώς που είναι υπεύθυνη για την εξαιρετική λάμψη και ως εκ τούτου την δημοτικότητά του (Frisch, 1998).

Τα άτομα βορίου και αζώτου μπορούν να εμφανιστούν ως προσμίξεις στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός διαμαντιού με διάφορους τρόπους, αντικαθιστώντας άτομα άνθρακα (Σχήμα 8).



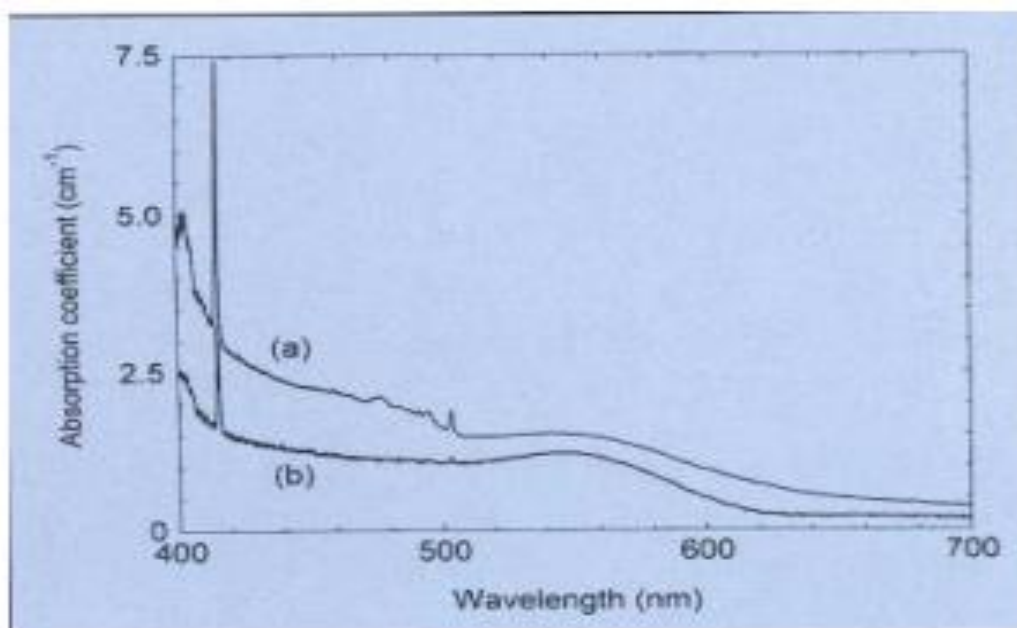
Σχήμα 8. Οι θέσεις ατόμων Βορίου και Αζώτου στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός διαμαντιού (Danil, 2015)

2.2.2 Δομικές ατέλειες

Οι δομικές ατέλειες που εμφανίζονται σε πολλά διαμάντια είναι η δεύτερη αιτία για την οποία τα διαμάντια παρουσιάζονται με διαφορετικά χρώματα. Ένας τύπος εκτεταμένης δομικής ατέλειας που παρουσιάζεται στην κρυσταλλική δομή του διαμαντιού είναι η πλαστική παραμόρφωση. Σε ορισμένους πολύτιμους λίθους, μια εξωτερική διατμητική τάση προκαλεί την ολίσθηση ορισμένων επιπέδων άνθρακα. Πολλά από τα καφέ και ροζ διαμάντια που έχουν εξορυχθεί από το ορυχείο Argyle στην Αυστραλία ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Στην εξέταση των κρυστάλλων αυτών κάτω από το μικροσκόπιο, παρατηρείται ότι το χρώμα δεν είναι ομοιόμορφο, αλλά κατανέμεται σε ραβδώσεις οι οποίες είναι προσανατολισμένες προς

την κατεύθυνση της ολίσθησης. Οι ραβδώσεις αυτές αναφέρονται ως “χρωματιστά νερά” (colored graining) στο εμπόριο πολύτιμων λίθων (Yuryeva et al., 2020). Δεν είναι γνωστό λεπτομερώς γιατί η πλαστική παραμόρφωση παράγει χρωματιστά διαμάντια ή γιατί προκύπτει το καφέ και το ροζ χρώμα. Μια πιθανή εξήγηση είναι πως εμπλέκεται ένα “ελάττωμα σημείου” (point defect), το οποίο παγιδεύεται ή «διακοσμεί» την παραμόρφωση. Μια εναλλακτική εξήγηση είναι ότι το ροζ χρώμα συνδέεται με μικρές μετατοπίσεις των επιπέδων των ατόμων άνθρακα και ότι οι μεγαλύτερες μετατοπίσεις είναι εκείνες που ευθύνονται για το καφέ χρώμα (King et al., 2002).

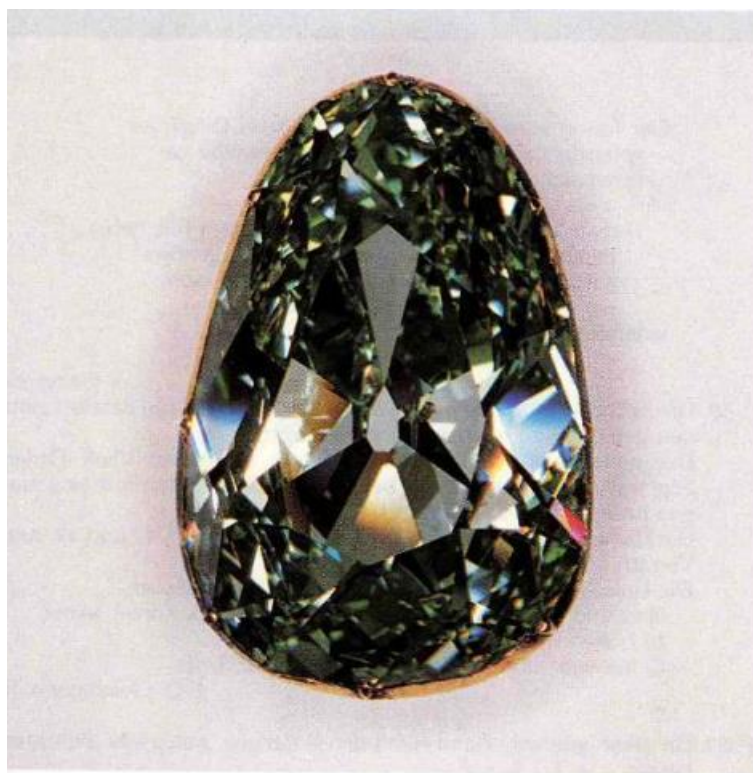
Στο σχήμα 9 παρουσιάζονται τα φάσματα απορρόφησης ενός καφέ διαμαντιού τύπου Ia και ενός ροζ Argyle διαμαντιού (επίσης τύπου Ia). Και τα 2 διαμάντια παρουσιάζουν μια απορρόφηση N3 και εμφανίζουν την ευρεία ζώνη απορρόφησης με μέγιστο κοντά στα 560 nm. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο φασμάτων είναι ότι το καφέ διαμάντι έχει κάποια πρόσθετη απορρόφηση που γίνεται προοδευτικά ισχυρότερη από τα μεγάλα προς τα μικρά μήκη κύματος.



Σχήμα 9. Φάσματα απορρόφησης στην ορατή περιοχή, που καταγράφηκαν με τα δείγματα στους 77 K, (a) ενός καφέ τύπου Ia διαμαντιού και (b) ενός ροζ Argyle διαμαντιού (Collins, 2001).

Ένας άλλος τύπος δομικής ατέλειας θεωρείται πως είναι τα διάκενα που δημιουργούνται στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός διαμαντιού. Τα διάκενα αυτά μπορούν να προκύψουν από ακτινοβολία, για παράδειγμα με ηλεκτρόνια, με σωματίδια άλφα, με νετρόνια ή ακτίνες γάμα, τα οποία έχουν όλα αρκετή ενέργεια να εκτοπίσουν ορισμένα από τα άτομα άνθρακα που βρίσκονται στο κρυσταλλικό πλέγμα του διαμαντιού. Η διαδικασία αυτή αφήνει κενές θέσεις

στην κρυσταλλική δομή και τοποθετεί τα άτομα άνθρακα που έχουν εκτοπιστεί σε ενδιάμεσες θέσεις. Η απορρόφηση φωτός που σχετίζεται με αυτά τα διάκενα που δημιουργούνται παράγει μια ζώνη σε μικρότερα μήκη κύματος και δίνει στο διαμάντι ένα πράσινο ή μπλε-πράσινο χρώμα. Πολλά φυσικά διαμάντια που δεν έχουν υποστεί διαδικασία κοπής, παρουσιάζουν επιφανειακά ένα πράσινο χρώμα το οποίο έχει παραχθεί από σωματίδια άλφα, αλλά το φαινόμενο αυτό έχει έκταση σε λίγα μόνο χιλιοστά βάθος. Τα διαμάντια που εμφανίζουν φυσικά παραγόμενη απορροφητικότητα λόγω διάκενων κατά μήκος του όγκου τους είναι εξαιρετικά σπάνια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του "Dresden Green", το οποίο υπάρχει σε φωτογραφίες της συλλογής Aurora (Σχήμα 10).



Σχήμα 10. Το Dresden Green (Bosshart, 1989)

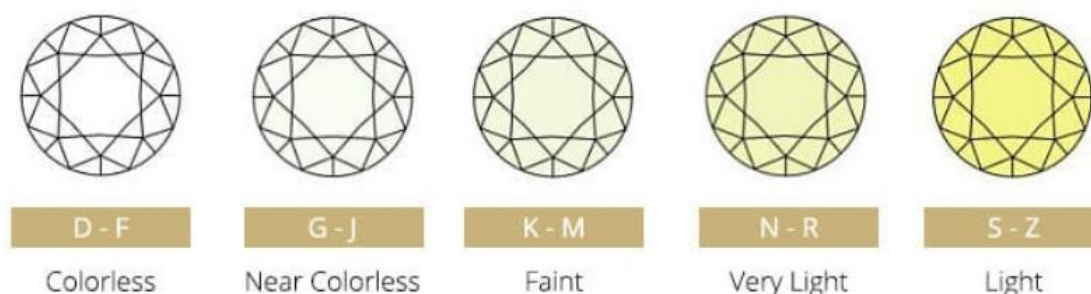
2.3 Μέθοδοι βαθμονόμησης και ταξινόμησης χρωμάτων διαμαντιών

Μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την αξία των φυσικών διαμαντιών είναι το πόσο άχρωμα είναι, που ορίζεται ως ο βαθμός χρώματος. Το συνηθισμένο εύρος χρωμάτων στο εμπόριο υποδηλώνεται με γράμματα της αγγλικής αλφαβήτου (D-Z), όπου το D αντιπροσωπεύει την πιο άριστη εμπορική ποιότητα. Ο βαθμός χρώματος των διαμαντιών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητά τους σε άζωτο (όταν τα άτομα αζώτου αντικαθιστούν τα άτομα άνθρακα στον κρύσταλλο) και μπορεί να

προσδιορίζεται από αυτήν την ιδιότητα. Τα διαμάντια απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο φασματικό εύρος της UV-ορατής ακτινοβολίας και της υπέρυθρης ακτινοβολίας και ως εκ τούτου, ο βαθμός χρώματός τους μετράται μέσω της φασματοσκοπικής απορρόφησης φωτός σε αυτό το εύρος συχνοτήτων.

Οι ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες διάφορων στιλβωμένων διαμαντιών που έχουν αρκετά μεγάλες συγκεντρώσεις αζώτου στην περιοχή συχνοτήτων 100-110 GHz (δέσμη W), έχουν μελετηθεί (Yassi et al., 2021). Από την μελέτη αυτή που βασίζεται στη μέτρηση διηλεκτρικών ιδιοτήτων των διαμαντιών μέσω φασματοσκοπικής ανάλυσης στο εύρος μήκους κύματος χιλιοστών, μπορεί να καθοριστεί ο βαθμός χρώματος.

Το Γεωλογικό Ινστιτούτο Αμερικής (GIA) εισήγαγε την κλίμακα ταξινόμησης χρώματος των διαμαντιών το 1953. Πλέον αποτελεί το βιομηχανικό πρότυπο και η κλίμακα που χρησιμοποιείται για τα διαμάντια ξεκινά με το D και φτάνει μέχρι το Z (Σχήμα 11). Το D σημαίνει πως το διαμάντι είναι εντελώς άχρωμο. Το E και το F θεωρούνται επίσης άχρωμα στην κλίμακα GIA, τουλάχιστον στον βαθμό που μπορεί να δει το γυμνό μάτι. Ένα μικροσκόπιο υψηλής ισχύος μπορεί να αποκαλύψει μικρές διαφορές μεταξύ των D, E και F, αλλά το γυμνό μάτι δεν μπορεί να τις ξεχωρίσει (Yassi et al., 2021).



Σχήμα 11. Η κλίμακα ταξινόμησης χρώματος των διαμαντιών σύμφωνα με το GIA (<https://www.gia.edu.>)

Όσο υψηλότερο είναι το διαμάντι στην κλίμακα ταξινόμησης GIA τόσο πιο πολύτιμο είναι και υπάρχει ακόμη μεγαλύτερο άλμα στην αξία για τους τρεις άχρωμους βαθμούς και ειδικά για το D. Οι βαθμοί άχρωμων διαμαντιών προχωρούν από το D στο Z, αλλά δεν τελειώνει εκεί. Ένα διαμάντι του οποίου το χρώμα είναι πιο κορεσμένο από το Z ταξινομείται εκ νέου ως κομψό (fancy) διαμάντι και η αξία του αρχίζει να ανεβαίνει εκ νέου – περισσότερο χρώμα ισούται με μεγαλύτερη αξία.

Ένα διαμάντι με χρώμα πιο κορεσμένο από το Z αρχίζει να αποκτά ξανά αξία ως κομψό χρωματιστό διαμάντι και βαθμολογείται και ταξινομείται με ένα εντελώς διαφορετικό σύνολο

κριτηρίων. Τα περισσότερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση άχρωμων/λευκών διαμαντιών δεν ισχύουν πλέον. Για ένα κομψό χρωματιστό διαμάντι, το χρώμα είναι ο πρώτος και κύριος καθοριστικός παράγοντας της αξίας του, επομένως θα κοπεί έτσι ώστε να παρουσιαστεί η καλύτερη χρωματική του εμφάνιση κοιτώντας το από πάνω. Αυτές οι διαδικασίες επεξεργασίας μπορεί να είναι ριζικά διαφορετικές από αυτές που θα εφαρμόζονταν σε ένα άχρωμο διαμάντι. Ακόμη και το μέγεθός του δεν παίζει πλέον τόσο σημαντικό ρόλο, όσο παίζει το χρώμα. Φυσικά, ένα μεγαλύτερο κομψό χρωματιστό διαμάντι θα είναι πιο πολύτιμο σε σύγκριση με ένα μικρότερο – αλλά δεν είναι ασυνήθιστο για έναν επιδέξιο κόφτη διαμαντιών να κόψει ξανά ένα μεγάλο ελαφρύ (light) διαμάντι για να προσπαθήσει να βγάλει περισσότερο χρώμα, ακόμη και αν αυτό σημαίνει απώλεια βάρους σε καράτια (King et al., 2002).

Τα κομψά διαμάντια λοιπόν, βαθμονομούνται τόσο από την ένταση όσο και από την απόχρωση του εκάστοτε χρώματος. Η ένταση κυμαίνεται από ελαφριά – light (πιο οικονομικά προσιτή) έως κομψή – fancy και έως ζωηρή - vivid (η πιο οικονομικά δυσπρόσιτη), έχοντας το καθένα διαφορετικούς βαθμούς αξιολόγησης. Στις αναφορές έγχρωμων διαμαντιών της GIA, οι βαθμοί κατά σειρά αυξανόμενης ισχύος είναι: Αχνό (Faint), Πολύ Ελαφρύ (Very Light), Ελαφρύ (Light), Κομψό (Fancy), Έντονα Κομψό (Fancy Intense), Κομψό Ζωηρό (Fancy Vivid), Κομψό Σκοτεινό (Fancy Dark) και Βαθύ Κομψό (Fancy Deep). Ο πολύτιμος λίθος αξιολογείται επίσης και για την εναλλαγή χρωμάτων: θεωρείται ροζ ή μωβ ροζ, μπλε του ουρανού ή γκριζωπό μπλε. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να μειώσει ή να αυξήσει επίσης την αξία ενός διαμαντιού. Παρ' όλα αυτά η ταξινόμηση των κομψών διαμαντιών αποτελεί μια πιο υποκειμενική διαδικασία (απ' ότι αυτή των λευκών διαμαντιών), επειδή η ομορφιά του χρώματος είναι πάντα στο μάτι του παρατηρητή (Margolese, 2020).

3. Τύποι διαμαντιών

Ο τύπος του διαμαντιού είναι μια έννοια που αναφέρεται συχνά στην γεμολογική βιβλιογραφία, αλλά η συνάφειά του με τον ασκούμενο γεμολόγο σπάνια συζητείται. Τα διαμάντια χωρίζονται ευρέως σε δύο τύπους (Τύπο I και II) με βάση την παρουσία ή την απουσία προσμίξεων αζώτου και υποδιαιρούνται περαιτέρω ανάλογα με την διάταξη των ατόμων αζώτου (απομονωμένα ή συσσωματωμένα) και την ύπαρξη ή μη προσμίξεων βορίου.

Ο τύπος διαμαντιού σχετίζεται άμεσα με το χρώμα και τα δομικά ελαττώματα του κρυσταλλικού πλέγματος που τροποποιούνται από κατεργασίες αλλαγής χρώματος. Η επίγνωση του εκάστοτε τύπου διαμαντιού επιτρέπει στους γεμολόγους να αξιολογήσουν καλύτερα εάν ένα διαμάντι έχει υποστεί κάποια κατεργασία – επεξεργασία ή αν είναι συνθετικό και εάν πρέπει να σταλεί σε εργαστήριο για δοκιμές. Οι επιστήμονες καθορίζουν τον τύπο χρησιμοποιώντας ακριβή όργανα FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), αλλά και πολλά απλά γεμολογικά εργαλεία (π.χ. μικροσκόπιο, λάμπα UV) που μπορούν να δώσουν αρκετά αξιόπιστες ενδείξεις του τύπου του διαμαντιού.

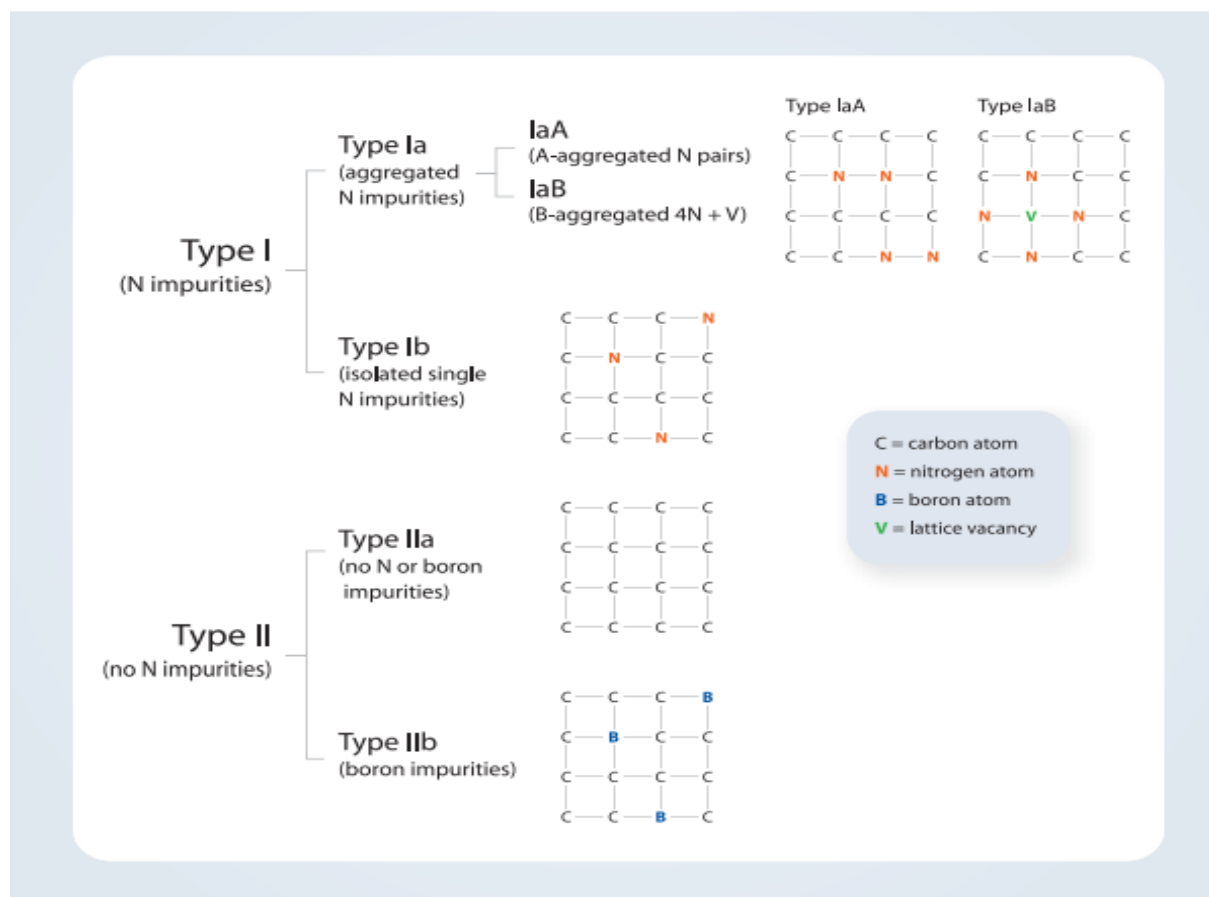
3.1 Εισαγωγή στους τύπους διαμαντιών

Οι γεμολόγοι έχουν αφιερώσει πολύ χρόνο και προσοχή στον διαχωρισμό των φυσικών από τα συνθετικά διαμάντια και στην διάκριση του φυσικού χρώματος από το αντίστοιχο χρώμα των επεξεργασμένων χρωματιστών διαμαντιών. Αρχικά, οι προσδιορισμοί αυτοί βασίστηκαν σε συστηματικές παρατηρήσεις που έγιναν με την χρήση τυπικών γεμολογικών εργαλείων όπως το μικροσκόπιο, το φασματοσκόπιο μοντέλο-γραφείου (ή χειρός) και λαμπτήρες υπεριώδους φωτός (UV). Ενώ αυτά τα εργαλεία παραμένουν ακόμη και σήμερα εξαιρετικά πολύτιμα, οι πρόσφατες εξελίξεις στην ανάπτυξη συνθετικών διαμαντιών, καθώς και οι τεχνικές επεξεργασίας ακτινοβολίας και υψηλής πίεσης – υψηλής θερμοκρασίας (HPHT), τα έχουν καταστήσει λιγότερο ακριβή στην αναγνώριση και εντοπισμό συνθετικών και επεξεργασμένων διαμαντιών. Έτσι, τα περισσότερα γεμολογικά εργαστήρια χρησιμοποιούν πλέον πιο εξελιγμένες επιστημονικές τεχνικές, όπως η φασματοσκοπία απορρόφησης και φωταύγειας για την ανίχνευση κατεργασιών και συνθετικών ενδείξεων. Αυτές οι εξελίξεις στον γεμολογικό προσδιορισμό διαμαντιών έχουν εισαγάγει πολλούς επιστημονικούς όρους και έννοιες στην γεμολογική βιβλιογραφία. Μια από τις βασικές και πιο σημαντικές έννοιες είναι ο «τύπος» του διαμαντιού. Το σύστημα ταξινόμησης που βασίζεται στον τύπο του διαμαντιού χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα, καθώς παρέχει έναν κατάλληλο και εύκολο τρόπο κατηγοριοποίησης διαμαντιών με βάση τις χημικές και φυσικές τους ιδιότητες. Η κατανόηση αυτού του συστήματος αποτελεί ζωτικής σημασίας για την

αξιολόγηση των σχέσεων μεταξύ της ανάπτυξης διαμαντιών, του χρώματος και της ανταπόκρισης σε εργαστηριακές κατεργασίες (Breeding & Shigley, 2009).

3.2 Η σημασία της ταξινόμησης των διάφορων τύπων διαμαντιών

Όπως έχει προαναφερθεί, το καθαρό διαμάντι αποτελείται από ένα μόνο στοιχείο: τον άνθρακα. Τα άτομα είναι διατεταγμένα σε ένα συμμετρικό επαναλαμβανόμενο μοτίβο (το πλέγμα διαμαντιού) που είναι μοναδικό μεταξύ των πολύτιμων λίθων. Ωστόσο, άτομα στοιχείων όπως το άζωτο (N) και το βόριο (B) μπορούν να αντικαταστήσουν ορισμένα από τα άτομα άνθρακα του πλέγματος (Breeding & Shigley, 2009). Ενώ μπορούν να ενσωματωθούν και άλλες προσμίξεις στοιχείων, το σύστημα ταξινόμησης που βασίζεται στους τύπους διαμαντιών χωρίζει τα διαμάντια σε κατηγορίες έχοντας ως αποκλειστικό γνώμονα την παρουσία ή την απουσία ορισμένων προσμίξεων αζώτου και βορίου και τους τρόπους με τους οποίους οι προσμίξεις αυτές είναι διατεταγμένες στο πλέγμα. (Σχήμα 12).



Σχήμα 12. Τα σχηματικά αυτά διαγράμματα απεικονίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα N και B αντικαθιστούν τα άτομα C στο πλέγμα. Τα διαγράμματα είναι απλοποιημένες διδιάστατες αναπαραστάσεις των τετραεδρικά συνδεδεμένων ατόμων C (τέσσερις δεσμοί ανά άτομο C) που σχηματίζουν την τελική τρισδιάστατη κρυσταλλική δομή του διαμαντιού. Τα διαμάντια τύπου Ia περιέχουν συσσωματωμένες προσμίξεις αζώτου – και συμπεριλαμβάνουν τα συσσωματώματα A (IaA), τα οποία αποτελούνται από ζεύγη ατόμων N και των συσσωματωμάτων B (IaB), τα οποία αποτελούνται από τέσσερα άτομα N γύρω από ένα διάκενο (V). Τα διαμάντια τύπου Ib έχουν απομονωμένα άτομα N. Τα διαμάντια τύπου IIa δεν περιέχουν καμία μετρήσιμη προσμίξη, ενώ τα διαμάντια τύπου IIb περιέχουν προσμίξεις βορίου (B) (Breeding & Shigley, 2009).

3.3 Ταξινόμηση τύπων διαμαντιών

Ο τύπος ενός διαμαντιού παίζει σημαντικό ρόλο στα πιθανά χρώματα των φυσικών, συνθετικών και επεξεργασμένων πολύτιμων λίθων (Σχήμα 13). Το βασικό θεμέλιο του συστήματος ταξινόμησης των τύπων των διαμαντιών είναι η παρουσία ή απουσία αζώτου, της πιο κοινής προσμίξης που παρατηρείται στο διαμάντι. Τα διαμάντια τύπου I χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη αρκετής ποσότητας αζώτου ώστε να είναι μετρήσιμο με φασματοσκοπία απορρόφησης IR, ενώ τα διαμάντια τύπου II δεν περιέχουν αρκετό άζωτο ώστε αυτό να ανιχνευθεί από το φασματοσκόπιο IR. Αυτές οι γενικές κατηγορίες στη συνέχεια υποδιαιρούνται με βάση την φύση των προσμίξεων που υπάρχουν. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, τα διαμάντια τύπου I χωρίζονται σε τύπου Ia και τύπου Ib. Και οι δύο υποομάδες περιέχουν άζωτο, αλλά τα άτομα του αζώτου σε καθεμία είναι διατεταγμένα διαφορετικά (Σχήμα 12). Στα διαμάντια τύπου Ib, τα άτομα αζώτου που έχουν αντικαταστήσει άτομα άνθρακα στο κρυσταλλικό πλέγμα εντοπίζονται απομονωμένα το ένα από το άλλο – δηλαδή δεν εμφανίζονται σε γειτονικές θέσεις του πλέγματος. Αυτές οι προσμίξεις αζώτου αναφέρονται με διάφορα ονόματα στην επιστημονική βιβλιογραφία: απομονωμένο N ή υποκαταστάσεις N και κέντρα C. Αντίθετα, τα διαμάντια τύπου Ia περιέχουν άτομα N που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους σε μια από τις δύο φασματοσκοπικά ανιχνεύσιμες διαμορφώσεις.

Η πιο κοινή διαμόρφωση για τα διαμάντια τύπου Ia περιλαμβάνει δύο άτομα αζώτου που βρίσκονται γειτονικά τοποθετημένα μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Παρόλο που αυτά τα δύο άτομα N καταλαμβάνουν γειτονικές θέσεις, κάθε ζεύγος βρίσκεται απομονωμένο από άλλα άτομα N στο πλέγμα. Αυτές οι προσμίξεις αναφέρονται συνήθως ως συσσωματώματα A (ή κέντρα A) και τα διαμάντια που τα περιέχουν ονομάζονται τύπου IaA. Η άλλη διαμόρφωση περιλαμβάνει τέσσερα άτομα N που περιβάλλουν συμμετρικά μια κενή θέση – διάκενο (η κενή θέση είναι μια θέση του πλέγματος που δεν καταλαμβάνεται από κανένα άτομο, ενώ συνήθως καταλαμβάνεται από ένα άτομο άνθρακα). Αυτή η σύνθετη ομαδοποίηση σχηματίζεται όταν συνδυάζονται δύο κέντρα A. Αυτές οι ομαδοποιήσεις προσμίξεων αζώτου ονομάζονται συσσωματώματα B (ή κέντρα B) και τα αντίστοιχα διαμάντια που τις περιέχουν είναι διαμάντια τύπου IaB.

Τα διαμάντια τύπου II χωρίζονται σε τύπους IIa και IIb. Τα διαμάντια τύπου IIa δεν περιέχουν εύκολα μετρήσιμες προσμίξεις αζώτου ή βορίου. Τα φυσικά διαμάντια τύπου IIb παρομοίως δεν περιέχουν μετρήσιμες προσμίξεις αζώτου, αντίθετα περιέχουν προσμίξεις βορίου που πιστεύεται πως είναι μεμονωμένα άτομα που αντικαθιστούν τον άνθρακα στο

κρυσταλλικό πλέγμα των διαμαντιών. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των διαμαντιών τύπου Ib, όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα, είναι άμεσο αποτέλεσμα των προσμίξεων του βορίου (Breeding & Shigley, 2009).

Type	Natural Diamonds	Treated Natural Diamonds	Synthetic and Treated Synthetic Diamonds
Ia			
Ib			
IIa			
IIb			

Σχήμα 13. Το χρώμα επηρεάζεται έντονα από την παρουσία προσμίξεων και δομικών ελαττωμάτων στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός διαμαντιού. Κατά συνέπεια, ο τύπος διαμαντιού παίζει σημαντικό ρόλο στα πιθανά χρώματα των φυσικών, συνθετικών και επεξεργασμένων πολύτιμων λίθων. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά αντιπροσωπευτικά χρώματα για κάθε κατηγορία και τύπο διαμαντιού (Breeding & Shigley, 2009).

3.3.1 Τι μαρτυρά ο τύπος ενός διαμαντιού

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι γεωλογικές συνθήκες στις οποίες έχουν εκτεθεί τα φυσικά διαμάντια κατά την διάρκεια της μακροχρόνιας ύπαρξής τους στη γη σε σύγκριση με τις υφιστάμενες συνθήκες που επικρατούν σε ένα εργαστήριο κατά την διάρκεια της κατεργασίας ή της συνθετικής ανάπτυξης ενός διαμαντιού είναι αξιοσημείωτα διαφορετικές. Ωστόσο, τα δομικά ελαττώματα του πλέγματος που προκύπτουν από τις διεργασίες αυτές αποδίδουν φυσικά, επεξεργασμένα και συνθετικά διαμάντια με πολύ παρόμοια χρώματα. Στον Πίνακα 1 δίνονται πληροφορίες σχετικά με δομικά ελαττώματα που επηρεάζουν το χρώμα ενός διαμαντιού και δεν σχετίζονται με τον τύπο του.

Οι προσμίξεις που εντοπίζονται στα διαμάντια ρυθμίζουν τη φύση των ελαττωμάτων του πλέγματος και την εξέλιξή τους κατά την εργαστηριακή ανάπτυξη ή κατεργασία. Επομένως, ο τύπος ενός διαμαντιού αντικατοπτρίζει την ιστορία του, είτε αυτό έχει υπάρξει στην φύση είτε στο εργαστήριο, είτε και στα δύο και η επαρκής κατανόηση του τύπου διαμαντιού θεωρείται

κρίσιμης σημασίας για σκοπούς αναγνώρισης. Δεδομένου ότι η ανίχνευση πολλών σύγχρονων κατεργασιών απαιτεί τις εγκαταστάσεις ενός καλά εξοπλισμένου γεωλογικού εργαστηρίου, είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε το πότε χρειάζεται πραγματικά να στείλουμε ένα διαμάντι για προηγμένες δοκιμές. Με την καλύτερη κατανόηση λοιπόν του τρόπου με τον οποίο ο τύπος διαμαντιών σχετίζεται με το φυσικό χρώμα, το επεξεργασμένο χρώμα και τις διαδικασίες συνθετικής ανάπτυξης, ένας γεωλόγος θα πρέπει να είναι σε θέση να λάβει αυτήν την απόφαση με μεγαλύτερη ευκολία και σιγουριά (Breeding & Shigley, 2009).

Πίνακας 1: Δομικά ελαττώματα διαμαντιών που δεν σχετίζονται με τους τύπους διαμαντιών και ευθύνονται για την ύπαρξη χρώματος.

Αρκετά δομικά ελαττώματα του πλέγματος συμβάλλουν στον καθορισμό του χρώματος των διαμαντιών, παρόλο που δεν σχετίζονται με τους διάφορους τύπους διαμαντιών. Τα περισσότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά απορροφούν φως επιλεκτικά στο ορατό εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και παράγουν χρώμα που μπορεί να εντοπιστεί με ένα γεωλογικό φασματοσκόπιο ή ένα φασματόμετρο απορρόφησης UV-Vis-NIR. Αυτά τα ελαττώματα αναφέρονται συχνά στην επιστημονική και γεωλογική βιβλιογραφία.

N3 (415 nm): Το ελάττωμα αυτό αποτελείται από τρία άτομα αζώτου που περιβάλλουν μια κενή θέση. Εκτός από το ότι συμβάλλει στο κίτρινο χρώμα των διαμαντιών "cape", μπορεί επίσης να παράγει μπλε φωταύγεια ως απόκριση στην υπεριώδη ακτινοβολία.

N2 (478 nm): Αυτή η ευρεία απορρόφηση σχετίζεται με το N3 και αποτελεί μέρος του φάσματος "cape" σε πολλά κίτρινα διαμάντια. Σχετίζεται επίσης με προσμίξεις αζώτου.

480 nm: Αυτή η ευρεία ζώνη είναι ένα ελάττωμα άγνωστης προέλευσης που παράγει συνήθως κίτρινο ή πορτοκαλί χρώμα στα διαμάντια τύπου Ia.

H4 (496 nm): Αυτό το ελάττωμα αποτελείται από τέσσερα άτομα αζώτου που διαχωρίζονται από δύο κενά στο πλέγμα. Δημιουργείται όταν μια κενή θέση μεταναστεύει μέσα από το κρυσταλλικό πλέγμα και συνδυάζεται με μια B-aggregated πρόσμιξη αζώτου και παράγει κίτρινο χρώμα.

H3 (503.2 nm): Ένα μη φορτισμένο ελάττωμα που αποτελείται από δύο άτομα αζώτου που διαχωρίζονται από ένα κενό στο πλέγμα. Παράγει κίτρινο χρώμα και μπορεί και πράσινη φωταύγεια.

3H (503.5 nm): Το ελάττωμα αυτό σχετίζεται με ένα διάμεσο άτομο άνθρακα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Δημιουργείται από ακτινοβολία και σε σπάνιες περιπτώσεις παράγει πράσινο χρώμα στα διαμάντια.

550 nm: Η ευρεία αυτή ζώνη είναι ελάχιστα κατανοητή και πιστεύεται ότι σχετίζεται με πλαστική παραμόρφωση του κρυσταλλικού πλέγματος. Παράγει ροζ έως κόκκινο χρώμα στα φυσικά διαμάντια, αλλά είναι επίσης κοινό σε καφέ λίθους.

NV⁰ (575 nm): Το ελάττωμα αυτό προκύπτει από ένα άτομο αζώτου δίπλα σε μια κενή θέση και βρίσκεται σε μια ουδέτερη κατάσταση φόρτισης. Σε συνδυασμό με το ελάττωμα των 637 nm, παράγει ροζ χρώμα στα περισσότερα επεξεργασμένα διαμάντια καθώς και σε μερικά φυσικά ροζ διαμάντια.

595 nm: Η ζώνη αυτή είναι ένα ελάττωμα που σχετίζεται με άζωτο και έχει αβέβαιη δομή. Συσχετίζεται με την εργαστηριακή ακτινοβολία και την ανόπτηση του διαμαντιού για την παραγωγή πράσινων, κίτρινων και ροζ χρωμάτων.

NV⁻ (637 nm): Το ελάττωμα αυτό προκύπτει από ένα άτομο αζώτου δίπλα σε μια κενή θέση και βρίσκεται σε αρνητική κατάσταση φόρτισης. Συνδυάζεται με το NV⁰ για να παράγει ροζ χρώματα.

GR1 (741 nm): Το ελάττωμα αυτό είναι μια ενιαία, αφορτιστη κενή θέση στο κρυσταλλικό πλέγμα του διαμαντιού. Είναι κοινό στα περισσότερα φυσικά και τεχνητά διαμάντια τύπου Ia και IIa. Αν και εκτός του ορατού φασματικού εύρους, η ισχυρή απορρόφησή του παράγει ζώνες στο κόκκινο άκρο του φάσματος δίνοντας πράσινο ή μπλε χρώμα.

H2 (986): Ένα αρνητικά φορτισμένο ελάττωμα που αποτελείται από δύο άτομα αζώτου χωρισμένα από ένα κενό. Σχετίζεται στενά με το H3 και αναφέρεται ως απόδειξη κατεργασίας HPHT σε διαμάντια τύπου Ia. Παράγει πράσινο χρώμα κατά τον συνδυασμό του με το H3.

3.3.2 Η σχέση τύπου με το χρώμα και την επεξεργασία διαμαντιού

Τα φυσικά διαμάντια συχνά εμφανίζουν χρώματα που σχετίζονται άμεσα με τον τύπο τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 13. Για παράδειγμα, τα άχρωμα, τα καφέ, τα ροζ και τα βιολετί διαμάντια τύπου Ia είναι απίθανο να έχουν υποστεί χρωματική επεξεργασία, ενώ τα κίτρινα, τα πορτοκαλί, τα κόκκινα, τα μπλε και τα πράσινα διαμάντια τύπου Ia είναι κοινό να έχουν υποστεί κάποιους είδους χρωματικής επεξεργασίας. Τα φυσικά διαμάντια τύπου Ib είναι σχεδόν πάντα καφέ, κίτρινα ή πορτοκαλί, ενώ τα αντίστοιχα τεχνητά διαμάντια που έχουν υποστεί διαδικασίες ακτινοβολήσης και ανόπτησης (μια διαδικασία θερμικής επεξεργασίας) είναι συνήθως ροζ ή έως κόκκινα. Η διεργασία με HPHT μπορεί να δημιουργήσει κίτρινο χρώμα σε ένα άχρωμο διαμάντι τύπου Ib, ενώ οι ίδιες διεργασίες μπορεί να ενισχύσουν τα καφέ διαμάντια τύπου Πα ώστε να φαίνονται άχρωμα ή ροζ και μπορεί να παράγει το μπλε χρώμα σε ορισμένα διαμάντια τύπου Ib. Παρόλα αυτά, η διαδικασία επεξεργασίας HPHT δεν μπορεί να μετατρέψει ένα διαμάντι τύπου Ia σε άχρωμο (εκτός από το σπάνιο καθαρό IaB), επομένως στην περίπτωση που ένας γεωλόγος διαπιστώσει πως ένα άχρωμο διαμάντι είναι τύπου Ia, δεν είναι απαραίτητο να το στείλει σε γεωλογικό εργαστήριο για περαιτέρω δοκιμές (τα ελάχιστα άχρωμα συνθετικά διαμάντια που κυκλοφορούν αυτήν την στιγμή στην αγορά είναι τύπου Πα).

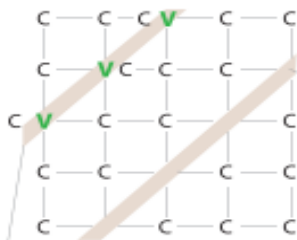
Οι περισσότερες μόνιμες κατεργασίες διαμαντιών (δηλαδή που δεν σχετίζονται με επιστρώσεις επιφανειών) προσθέτουν, αλλάζουν ή αφαιρούν το χρώμα αναδιοργανώνοντας δομικά ελαττώματα στο κρυσταλλικό πλέγμα των διαμαντιών. Ο εκάστοτε τύπος του διαμαντιού μπορεί να καθορίσει το εάν τα απαραίτητα δομικά ελαττώματα που ευθύνονται για το χρώμα, πρέπει να δημιουργηθούν ή να καταστραφούν κατά την διαδικασία της επεξεργασίας προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η ακτινοβολήση εκτελείται τακτικά σε όλους τους τύπους διαμαντιών για την παραγωγή πράσινου ή μπλε χρώματος, επομένως ο τύπος δεν είναι πολύ χρήσιμος στην περίπτωση αυτή. Ωστόσο, στην περίπτωση που η ακτινοβολήση ακολουθηθεί από θέρμανση σε θερμοκρασίες μεταξύ 800-1000° C για να δημιουργηθεί ένα κίτρινο ή ροζ χρώμα, τότε ο τύπος του διαμαντιού του αρχικού υλικού θεωρείται ιδιαίτερα αξιοσημείωτης σημασίας. Τα διαμάντια τύπου I μεταβάλλουν συχνά το χρώμα τους σε έντονο κίτρινο, πορτοκαλί, ροζ ή κόκκινο όταν εκτεθούν σε ακτινοβολία η οποία ακολουθείται από ανόπτηση, ενώ τα διαμάντια τύπου II σπάνια αναπτύσσουν έντονα χρώματα σε αυτές τις αποχρώσεις λόγω της έλλειψης προσμίξεων (κυρίως αζώτου) που απαιτούνται για την δημιουργία πολύπλοκων δομικών ελαττωμάτων, τα οποία με τη σειρά τους ευθύνονται για το εκάστοτε χρώμα. Ως επακόλουθο, είναι ιδιαίτερα

χρήσιμο για έναν γεωλόγο να κατανοήσει πως τα διαμάντια τύπου II είναι απίθανο να έχουν υποβληθεί σε διαδικασίες επεξεργασίας που περιλαμβάνουν ακτινοβολία και ανόπτηση. Η ανίχνευση της ύπαρξης κατεργασίας HPHT απαιτεί ακόμη καλύτερη γνώση του τύπου του υπό εξέταση διαμαντιού (Fisher & Spits, 2000). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η διαδικασία επεξεργασίας HPHT απλά θα αποχρωματίσει ένα διαμάντι τύπου IIa (Σχήμα 14). Οι συνθήκες HPHT προκαλούν αλλαγές στις καφέ, παραμορφωμένες περιοχές στα διαμάντια αυτά, μετατρέποντάς τες σε άχρωμες έως σχεδόν άχρωμες. Περιστασιακά, η διαδικασία επεξεργασίας αυτή μπορεί να μετατρέψει τα διαμάντια τύπου II σε ροζ ή μπλε, ενώ όταν ένα καφετί διαμάντι τύπου I υποβάλλεται σε παρόμοιες συνθήκες επεξεργασίας, η παρουσία προσμίξεων αζώτου (N) το μετατρέπει σε διάφορες αποχρώσεις του κίτρινου (Σχήμα 14). Έτσι ένας γεωλόγος που εξετάζει άχρωμα διαμάντια μπορεί να προσδιορίσει άμεσα ποια πρέπει να σταλθούν σε εργαστήριο γεωλογίας για περαιτέρω δοκιμές, ελέγχοντας απλώς αν το διαμάντι είναι τύπου II ή όχι (Breeding & Shigley, 2009).

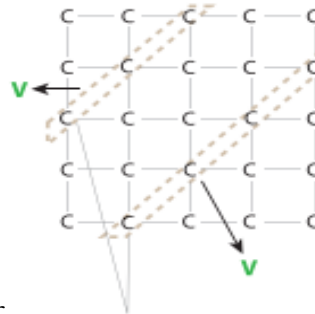
3.3.3 Η σχέση τύπου με τα συνθετικά διαμάντια

Τα τελευταία χρόνια, η παραγωγή συνθετικών διαμαντιών που αναπτύσσονται με διαδικασίες HPHT έχει αυξηθεί δραματικά και τα συνθετικά διαμάντια με εναπόθεση χημικών ατμών (CVD) έχουν αρχίσει να εισέρχονται στην αγορά πολύτιμων λίθων (Hall et al., 2007). Ο τύπος διαμαντιού μπορεί να παρέχει μερικές ενδείξεις, καθώς τα συνθετικά διαμάντια που αναπτύσσονται με HPHT είναι σχεδόν όλα τύπου Ib – ένας τύπος που είναι αρκετά σπάνιος στα φυσικά διαμάντια. Αυτά τα λίγα φυσικά διαμάντια που είναι τύπου Ib περιέχουν άφθονα εγκλείσματα φυσικών ορυκτών και παρουσιάζουν πολύχρωμα μοτίβα. Αντίθετα, τα συνθετικά διαμάντια τύπου Ib που έχουν αναπτυχθεί σε HPHT συνθήκες περιέχουν μόνο εγκλείσματα μεταλλικών ρευστών (metallic flux inclusions) και τυπικά παρουσιάζουν ένα πολύ αδύναμο μοτίβο παραμόρφωσης ή και καθόλου. Τα συνθετικά διαμάντια CVD είναι συνήθως τύπου IIa και τυπικά είναι σχεδόν άχρωμα ή ανοιχτό καφέ. Αυτά τα συνθετικά μπορούν συνήθως να διακριθούν από τα αντίστοιχα φυσικά και επεξεργασμένου χρώματος διαμάντια λόγω της απουσίας διασταυρούμενων μοτίβων. Περιστασιακά, τόσο οι τεχνικές HPHT όσο και οι CVD παράγουν μπλε συνθετικά διαμάντια τύπου IIb. Τα περισσότερα συνθετικά διαμάντια τύπου Ib που κυκλοφορούν έχουν έντονα κίτρινα έως πορτοκαλί χρώματα. Τέλος, με τις πρόσφατες εξελίξεις στις CVD τεχνικές ανάπτυξης συνθετικών διαμαντιών, τα άχρωμα διαμάντια τύπου IIa θεωρούνται επίσης ως πιθανώς συνθετικά (Breeding & Shigley, 2009).

Τύπος IIa καφέ διαμάντι πριν την διαδικασία HPHT



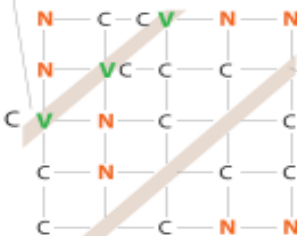
Τύπος IIa καφέ διαμάντι γίνεται άχρωμο μετά την HPHT



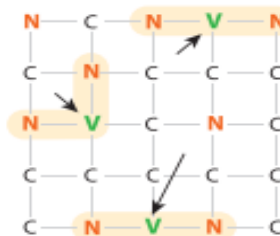
Η πλαστική παραμόρφωση παράγει πολλούς παραμορφωμένους και σπασμένους δεσμούς άνθρακα (και αντίστοιχες κενές θέσεις στο πλέγμα) συγκεντρωμένους κατά μήκος λωρίδων καφέ χρώματος, γνωστές ως «καφέ κοκκίωση»

Η διαδικασία HPHT διορθώνει παραμορφώσεις του πλέγματος και σπασμένους δεσμούς, απελευθερώνει κενές θέσεις και αφαιρεί έτσι την καφέ κοκκίωση, αφήνοντας μόνο άχρωμα υπολείμματα εσωτερικής κοκκίωσης που είναι συνηθισμένο φαινόμενο στα διαμάντια που έχουν υποστεί επεξεργασία HPHT.

Τύπος Ia καφέ διαμάντι πριν την διαδικασία HPHT



Τύπος Ia καφέ διαμάντι γίνεται κίτρινο μετά την HPHT

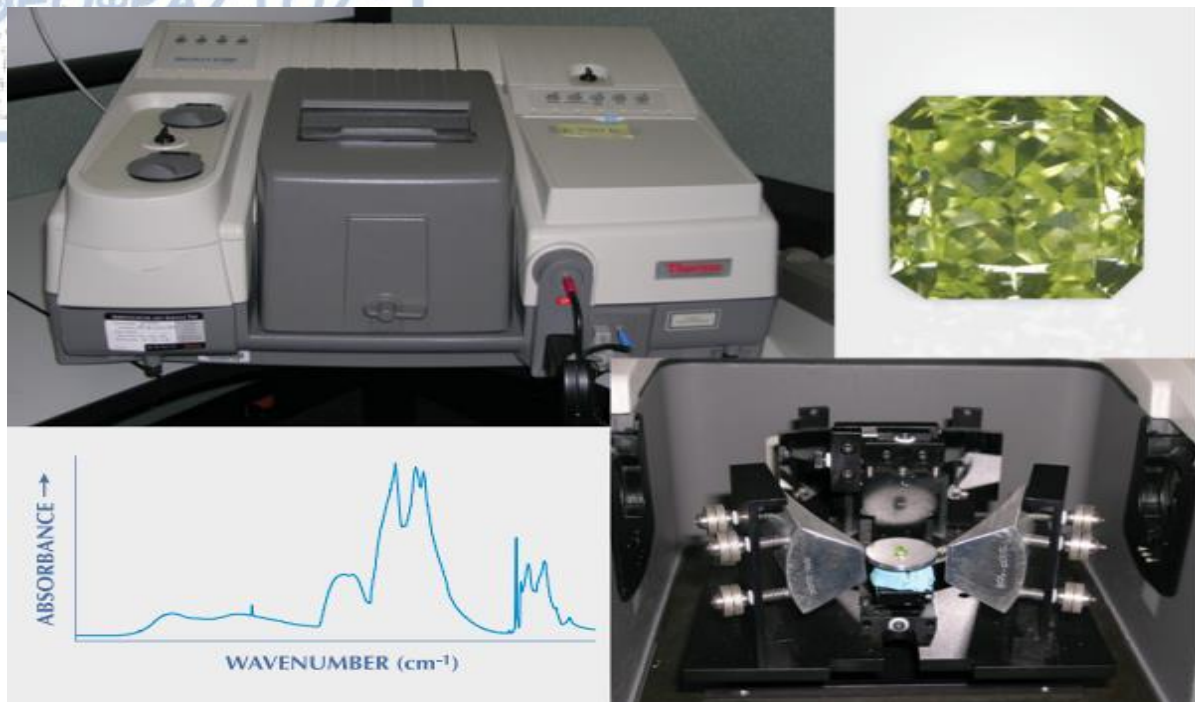


C = άτομο άνθρακα
N = άτομο αζώτου
V = κενό πλέγματος

Σχήμα 14. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας επεξεργασίας με HPHT εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπου διαμαντιού του αρχικού υλικού. Τα καφέ διαμάντια τύπου IIa μπορούν να αποχρωματιστούν επειδή το καφέ χρώμα που σχετίζεται με την πλαστική παραμόρφωση είναι ευαίσθητο στην επίδραση υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων. Συνήθως δεν σχηματίζονται νέα χρωματικά κέντρα λόγω της απουσίας σημαντικών προσμίξεων N. Αντίθετα, τα καφέ διαμάντια τύπου Ia περιέχουν άφθονες συσσωματωμένες προσμίξεις N που παγιδεύουν κενές θέσεις κατά την διάρκεια της επεξεργασίας και δημιουργούν σύνθετα ελαττώματα H3, ενώ ταυτόχρονα διασπών τα συσσωματώματα για να ελευθερώσουν απομονωμένο άζωτο. Και οι δύο αυτές διαδικασίες συμβάλλουν στο νεοσχηματισμένο κίτρινο χρώμα του σώματος του διαμαντιού (Breeding & Shigley, 2009).

3.4 Μέθοδοι διαφοροποίησης μεταξύ των τύπων διαμαντιών

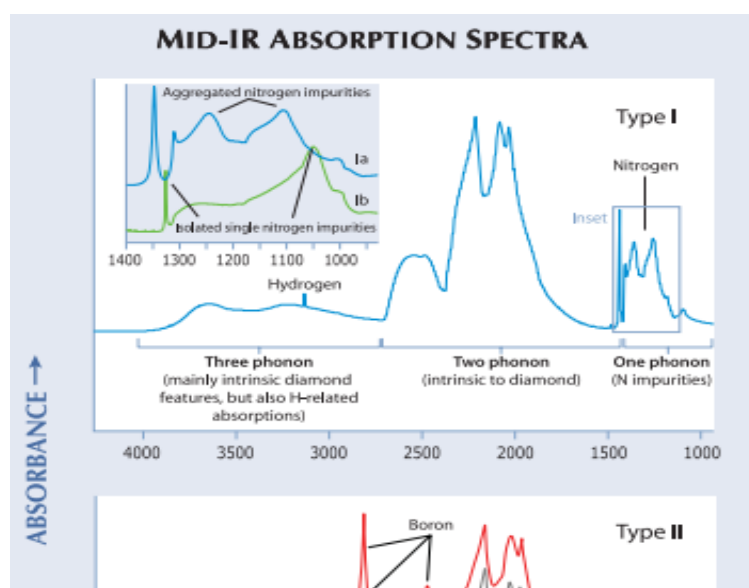
Προκειμένου να προσδιοριστεί ο τύπος ενός διαμαντιού, οι επιστήμονες πρέπει να μπορούν να ανιχνεύσουν και να μετρήσουν τις προσμίξεις που εμπλέκονται. Η πιο κοινή μέθοδος είναι η φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier (Fourier Transform Infrared Spectroscopy - FTIR), όπως φαίνεται στο σχήμα 15 (Clark et al., 1979).



Σχήμα 15. Φασματομέτρο FTIR τύπου Thermo Nicolet 6700 (πάνω αριστερά, resolution 1cm^{-1} , KBr beam splitter, mid-IR range) που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του τύπου διαμαντιού. Ένα πολυεπίπεδο διαμάντι όπως αυτό που φαίνεται πάνω δεξιά, τοποθετείται πάνω σε ένα ειδικά σχεδιασμένο φορέα-συμπυκνωτή δέσμης προκειμένου να εστιαστεί η δέση υπέρυθρων απευθείας στο πλέγμα του διαμαντιού (κάτω δεξιά). Αυτό που προκύπτει από την διαδικασία αυτή είναι ένα φάσμα απορρόφησης από το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί ο τύπος διαμαντιού (κάτω αριστερά) (Breeding & Shigley, 2009).

Μερικές άλλες τεχνικές, όπως η EPR/ESR (Electron Paramagnetic Resonance / Electron Spin Resonance spectroscopy) και η χημική ανάλυση SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy), προσφέρουν κάποια δυνατότητα μέτρησης προσμίξεων σε ένα διαμάντι. Ωστόσο, οι τεχνικές αυτές είναι ιδιαίτερα περίπλοκες, καταστροφικές, δαπανηρές και περιορισμένες στον όγκο των πληροφοριών που παρέχουν σχετικά με την διαμόρφωση συγκεκριμένων προσμίξεων αζώτου και βορίου. Αντίθετα η ανάλυση FTIR είναι μη καταστροφική και σχετικά φθηνή και παρέχει τεράστιο όγκο πληροφοριών σχετικά με την ύπαρξη προσμίξεων στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός διαμαντιού. Με απλά λόγια, η ανάλυση FTIR περιλαμβάνει την διοχέτευση μιας δέσμης υπέρυθρης ακτινοβολίας διαμέσω ενός διαμαντιού και τη μέτρηση της ποσότητας αυτής που απορροφάται (καθώς και σε ποια μήκη κύματος ακριβώς). Οι αλληλεπιδράσεις που δημιουργούνται μεταξύ των διαμορφώσεων των προσμίξεων αζώτου και βορίου και των γύρω ατόμων άνθρακα προκαλούν μοναδικά χαρακτηριστικά στο υπέρυθρο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Επιπλέον, το ίδιο το κρυσταλλικό πλέγμα των διαμαντιών παράγει μοναδικά χαρακτηριστικά απορρόφησης και με την χρήση της φασματοσκοπίας FTIR μπορεί να αναγνωριστεί ένα δείγμα ως διαμάντι και ταυτόχρονα να αποκαλύψει τους τύπους και τις ποσότητες προσμίξεων που υπάρχουν.

Για την ανάλυση της ανίχνευσης προσμίξεων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο FTIR, πρέπει πρώτα να γίνει περιγραφή των λεπτομερειών του φάσματος FTIR ενός διαμαντιού (Σχήμα 16). Ενώ τα νανόμετρα (nm) δίνονται συχνά ως μονάδες μήκους κύματος στο υπεριώδες και ορατό εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το εύρος των υπέρυθρων δίνονται συνήθως ως κυματικοί αριθμοί – wavenumbers (cm^{-1} , για να γίνει μετατροπή μεταξύ των μονάδων: $10^7 / [\text{μήκος κύματος σε nm}] = [\text{κυματικός αριθμός σε cm}^{-1}]$). Τα διαμάντια παρουσιάζουν σημαντικά χαρακτηριστικά απορρόφησης στην περιοχή mid-IR (μέσης υπεριώδους ακτινοβολίας) ($\sim 4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$). Για το διαμάντι, το εύρος αυτό χωρίζεται σε τρεις ζώνες –



Σχήμα 16. Ένα φάσμα απορρόφησης διαμαντιού FTIR αποτελείται από περιοχές ενός, δύο και τριών φωνονίων στις οποίες μπορούν να εντοπιστούν απορροφήσεις που δημιουργούνται λόγω ύπαρξης προσμίξεων αζώτου και βορίου και οι οποίες μπορούν να αναγνωριστούν και να προσδιοριστεί έτσι ο τύπος του διαμαντιού. Τα χαρακτηριστικά του τύπου I (πάνω) εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή του ενός φωνονίου, ενώ οι απορροφήσεις τύπου IIb που σχετίζονται με το βόριο εμφανίζονται πιο έντονα στις περιοχές δύο και τριών φωνονίων (κάτω). Το διευρυμένο φάσμα της περιοχής ενός φωνονίου (επάνω, ένθετο) απεικονίζει τις διαφορές μεταξύ των συσσωματωμένων (τύπου Ia) και των απομονωμένων (τύπου Ib) προσμίξεων αζώτου (Breeding & Shigley, 2009).

Η περιοχή του ενός φωνονίου (~ 1332 έως $\sim 400 \text{ cm}^{-1}$) είναι αυτή στην οποία οι προσμίξεις αζώτου που σχετίζονται με τον τύπο διαμαντιών I, παράγουν χαρακτηριστικές απορροφήσεις. Εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα διαμάντια τύπου II παρουσιάζουν ελάχιστα χαρακτηριστικά στην περιοχή αυτή. Οι περιοχές των δυο (2665 έως $\sim 1332 \text{ cm}^{-1}$) και τριών φωνονίων (~ 4000 έως 2665 cm^{-1}) περιέχουν χαρακτηριστικά που είναι εγγενή στο διαμάντι, απαντώνται δηλαδή σε όλους τους τύπους διαμαντιών. Αυτά τα χαρακτηριστικά δημιουργούνται από την δόνηση των δεσμών μεταξύ των ατόμων ανθράκων του πλέγματος των διαμαντιών όταν εκτίθενται σε υπέρυθρη ενέργεια (Zaitsev, 2001). Οι δυο αυτές περιοχές

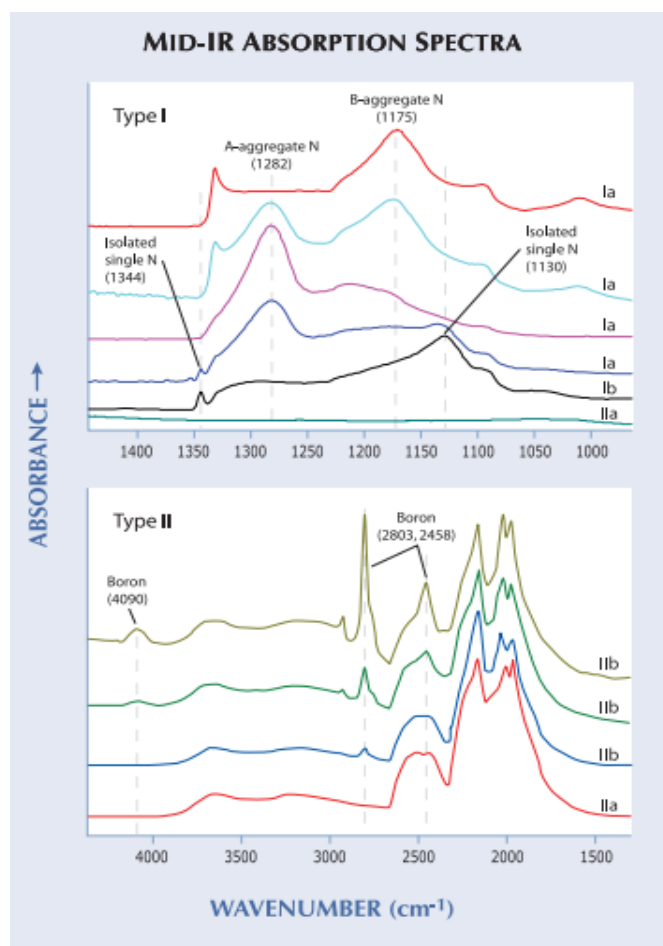
γνωστές ως περιοχές ενός, δύο και τριών φωνονίων. Ως φωνόνιο ορίζεται το αποτέλεσμα της μικρότερης δυνατής ταλάντωσης του κρυσταλλικού πλέγματος που μεταφέρει ενέργεια από άτομο σε άτομο. Με βάση τον τρόπο με τον οποίο δονούνται οι χημικοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων άνθρακα (και τυχόν προσμίξεων) μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα των διαμαντιών όταν αυτά εκτίθενται σε υπέρυθρη ενέργεια μπορούμε να αναγνωρίσουμε τον τύπο του διαμαντιού (Zaitsev, 2001). Στο σχήμα 16 φαίνονται οι περιοχές αυτές για τους τύπους I και II των διαμαντιών.

αποτελούν επίσης το μέρος του υπέρυθρου φάσματος όπου οι προσμίξεις βορίου μπορούν να ανιχνευθούν με μεγαλύτερη ευκολία. Ενώ τα χαρακτηριστικά που δημιουργούνται από τις προσμίξεις βορίου είναι συνήθως ασθενή στην περιοχή του ενός φωνονίου, σχετικά έντονες και ισχυρότερες κορυφές απορρόφησης παρουσιάζονται στα $\sim 2458\text{ cm}^{-1}$ στην περιοχή δύο φωνονίων και στα ~ 2930 και $\sim 2803\text{ cm}^{-1}$ στην περιοχή τριών φωνονίων. Αυτά προκύπτουν από αλληλεπιδράσεις ηλεκτρονίων του βορίου με το κρυσταλλικό πλέγμα του διαμαντιού. Σε ορισμένα διαμάντια τύπου I, άλλες προσμίξεις που δεν επηρεάζουν τον προσδιορισμό του τύπου (π.χ. υδρογόνο) μπορούν επίσης να εμφανίσουν χαρακτηριστικά στην περιοχή των τριών φωνονίων.

Η περιοχή ενός φωνονίου για τα διαμάντια τύπου I απεικονίζει διακριτά φασματικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν από τις διαφορετικές διαμορφώσεις των προσμίξεων αζώτου σε διαμάντια τύπου Ia και Ib. Το σχήμα 17 απεικονίζει μια σειρά φασμάτων FTIR που αποκαλύπτουν την εξέλιξη των προσμίξεων αζώτου από μεμονωμένο άζωτο (ανιχνεύσιμο στα 1344 και $\sim 1130\text{ cm}^{-1}$) σε A-συσσωματωμένο άζωτο (ανιχνεύσιμο στα $\sim 1282\text{ cm}^{-1}$) και τελικά σε B-συσσωματωμένο άζωτο (ανιχνεύσιμο στα $\sim 1175\text{ cm}^{-1}$). Οι μεταβλητές συγκεντρώσεις των συσσωματωμάτων A και B μαζί με το μονό υποκατάστατο άζωτο δημιουργούν μια συνέχεια εντάσεων κορυφών στην περιοχή αυτήν (Custers, 1952). Αξίζει να σημειωθεί πως το σύστημα ταξινόμησης βασίζεται σε σταδιακές μεταβάσεις μεταξύ των τύπων διαμαντιών, επομένως υπάρχουν στην πραγματικότητα λίγα «καθαρά» παραδείγματα τύπου διαμαντιού.

Εκτός από την ένδειξη παρουσίας προσμίξεων αζώτου και βορίου και της διάταξης αυτών που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του τύπου, η ανάλυση FTIR μπορεί να παρέχει επίσης χρήσιμες πληροφορίες για την συγκέντρωση στην οποία απαντώνται οι προσμίξεις αυτές. Τόσο τα διαμάντια τύπου I όσο και τα διαμάντια τύπου II μπορεί να εμφανίζουν ένα εύρος από συγκεντρώσεις προσμίξεων, οι οποίες συχνά έχουν αξιοσημείωτες επιδράσεις στις οπτικές ιδιότητες των διαμαντιών. Η ένταση μιας κορυφής απορρόφησης στο φάσμα FTIR ενός διαμαντιού σχετίζεται με δύο παράγοντες: τη συγκέντρωση της κάθε πρόσμιξης που προκαλεί την κορυφή και το πάχος του διαμαντιού από το οποίο διέρχεται η δέσμη της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όταν το πάχος (δηλαδή το μήκος διαδρομής) μπορεί να μετρηθεί απευθείας, η ένταση της φασματικής κορυφής FTIR μπορεί να υπολογιστεί για να παραχθεί ένας «συντελεστής απορρόφησης», ο οποίος εξαλείφει τον παράγοντα πάχους, αφήνοντας μόνο την ένταση που σχετίζεται με την συγκέντρωση των προσμίξεων. Το ύψος κορυφής μπορεί στη συνέχεια να συγκριθεί με τα ύψη κορυφής σε ένα διαμάντι γνωστής συγκέντρωσης προκειμένου να υπολογιστεί η ποσότητα της παρούσας πρόσμιξης. Ωστόσο, το γεγονός ότι τα περισσότερα διαμάντια είναι πολύπλευρα και πολυδιάστατα, καθιστά την

μέτρηση του μήκους διαδρομής ιδιαίτερα δύσκολη, αν όχι αδύνατη. Ευτυχώς, είναι ευρέως αποδεκτό ότι ο συντελεστής απορρόφησης του διαμαντιού στα περισσότερα τμήματα των περιοχών δύο και τριών φωνονίων είναι σταθερός. Στα 2000 cm^{-1} για παράδειγμα ο συντελεστής απορρόφησης είναι $12,3\text{ cm}^{-1}$ (Tang et al., 2005). Έτσι η απορρόφηση υπέρυθρων στα 2000 cm^{-1} είναι ανάλογη με το πάχος του δείγματος, επιτρέποντας την κανονικοποίηση οποιουδήποτε φάσματος υπέρυθρων για την εξάλειψη των επιδράσεων της διακύμανσης



Σχήμα 17. Οι προσμίξεις αζώτου και βορίου στο διαμάντι εμφανίζονται σε ποικίλες συγκεντρώσεις. Το φάσμα FTIR μπορεί όχι μόνο να αναγνωρίσει την παρουσία των προσμίξεων αυτών, αλλά μπορεί να επίσης να καθορίσει την διαμόρφωση στην οποία εμφανίζονται άτομα αζώτου στο πλέγμα των διαμαντιών (απομονωμένα ή συσσωματωμένα – πάνω). Πολλές απορροφήσεις που σχετίζονται με το βόριο γίνονται ορατές όσο αυξάνεται η συγκέντρωσή τους (κάτω) (Breeding & Shigley, 2009).

πάχους ή μήκους διαδρομής (δηλαδή δεν έχει σημασία το πόσο το φως αναπηδά στο εσωτερικό του διαμαντιού). Μετά την κανονικοποίηση, οι εγγενείς κορυφές διαμαντιών των περιοχών δύο και τριών φωνονίων απομακρύνονται αφαιρώντας ένα φάσμα καθαρού τύπου IIa από το άγνωστο φάσμα διαμαντιών, αφήνοντας έτσι ένα φάσμα αναφοράς που δείχνει μόνο τις κορυφές απορρόφησης που προκαλούνται από τις προσμίξεις και μόνο. Αυτές οι μέγιστες εντάσεις μπορούν να μετρηθούν και οι συγκεντρώσεις των προσμίξεων να υπολογιστούν από αυτές χρησιμοποιώντας εξισώσεις που προέρχονται από διαμάντια με γνωστές συγκεντρώσεις προσμίξεων (Kiflawi et al., 1994). Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια μέτρηση της απόλυτης συγκέντρωσης των προσμίξεων διάφορων διαμορφώσεων που ανήκουν σε ένα διαμάντι.

4. Κοπές Διαμαντιών

Η κοπή είναι ένας από τους τέσσερις κύριους δείκτες της ποιότητας του διαμαντιού, γνωστοί ως οι 4C. Σχετίζεται με τις αναλογίες και τις τεχνικές ιδιότητες του διαμαντιού, επηρεάζοντας έτσι την λάμψη του. Μια ανώτερης ποιότητας κοπή προσφέρει ενισχυμένη διασπορά χρώματος - που χαρακτηρίζεται ως φωτιά - και λάμψη στο διαμάντι. Οι κοπές διαμαντιών βαθμολογούνται από «Άριστη» (ή «ιδανική») στην κορυφή έως «Κακή» στο κατώτατο επίπεδο. Συνήθως, οι αξιόπιστοι διαδικτυακοί πωλητές αποφεύγουν τα διαμάντια με ποιότητα κοπής χαμηλότερης της «Καλής». Μεταξύ των 4C, η κοπή ξεχωρίζει ως το πιο κρίσιμο, επηρεάζοντας έτσι σημαντικά την ομορφιά και την λάμψη του διαμαντιού.

4.1 Οδηγός για τις κοπές διαμαντιών

Ένας επαγγελματίας γεωλόγος στη GIA εξετάζει κάθε διαμάντι υπό μεγέθυνση προκειμένου να καθορίσει τον εκάστοτε βαθμό κοπής. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι βαθμοί κοπής GIA για τα στρόγγυλα διαμάντια.

Η κοπή διαμαντιών είναι ένας οδηγός σχεδιαγράμματος που χρησιμοποιείται κατά την διαμόρφωση ενός διαμαντιού, όπως η κοπή μπριγιάν (brilliant cut). Οι κοπές αναφέρονται στο σχήμα (αχλάδι, οβάλ), καθώς και στην συμμετρία, την αναλογία και την στίλβωση ενός διαμαντιού. Η κοπή ενός διαμαντιού επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την λάμψη ενός διαμαντιού – ένα διαμάντι με κακή κοπή παρουσιάζει χαμηλότερη φωτεινότητα. Προκειμένου να αξιοποιηθούν με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο οι ιδιότητες του υλικού ενός πολύτιμου λίθου (gemstone) διαμαντιού, έχουν αναπτυχθεί διάφορες κοπές διαμαντιών. Μια ορισμένη κοπή διαμαντιού συνιστά μια συμμετρική διάταξη εδρών, ο συνδυασμός των οποίων τροποποιεί το σχήμα και την εμφάνιση ενός κρυστάλλου διαμαντιού. Πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, όπως το αρχικό σχήμα και το μέγεθος ενός κρυστάλλου, όταν επιλέγεται μια κοπή. Η πρακτική ιστορία των κοπών των διαμαντιών μπορεί να ανιχνευθεί στον Μεσαίωνα, ενώ η θεωρητική τους βάση δεν αναπτύχθηκε μέχρι και τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Ο σχεδιασμός, η δημιουργία και η καινοτομία συνεχίζονται μέχρι και σήμερα, καθώς η νέα τεχνολογία – ιδίως η κοπή με λέιζερ και η σχεδίαση με την βοήθεια υπολογιστή – επέτρεψε την ανάπτυξη κοπών των οποίων η πολυπλοκότητα, η οπτική απόδοση και η μείωση απορριμμάτων ήταν έως σήμερα αδιανόητα.

Πίνακας 3. Βαθμοί κοπής GIA για τα στρόγγυλα διαμάντια.

Άριστη	Τα άριστης κοπής διαμάντια παρέχουν το υψηλότερο επίπεδο φωτιάς και λάμψης. Αυτό συμβαίνει διότι όλο το εισερχόμενο φως αντανακλάται και έτσι το διαμάντι ακτινοβολεί με μια έντονη λάμψη.
Πολύ Καλή	Τα πολύ καλής κοπής διαμάντια προσφέρουν εξαιρετική λάμψη και φωτιά. Η πλειονηφία του εισερχόμενου φωτός αντανακλάται, ενώ με γυμνό μάτι τα συγκεκριμένα διαμάντια παρέχουν παρόμοια λάμψη με εκείνα της άριστης ποιότητας.
Καλή	Τα καλής κοπής διαμάντια επιδεικνύουν λάμψη και σπινθήρισμα, με μεγάλο μέρος του φωτός που εισέρχεται να αντανακλάται από το διαμάντι προς το μάτι του παρατηρητή.
Μέτρια	Τα διαμάντια μέτριας κοπής προσφέρουν ελάχιστη λάμψη, καθώς το φως εξέρχεται εύκολα από το κάτω μέρος και τις πλευρές του διαμαντιού. Τα διαμάντια μέτριας κοπής μπορεί να αποτελούν μια ικανοποιητική επιλογή για μικρότερα καράτια.
Κακή	Τα κακής κοπής διαμάντια δεν παρέχουν σχεδόν καθόλου λάμψη, σπινθήρισμα ή φωτιά. Το φως που εισέρχεται διαφεύγει από τα πλαϊνά και το κάτω μέρος του διαμαντιού.

Η πιο δημοφιλής κοπή διαμαντιών είναι η μοντέρνα στρόγγυλη μπριγιάν (modern round brilliant), της οποίας οι διαμορφώσεις και αναλογίες εδρών έχουν τελειοποιηθεί τόσο με μαθηματική, όσο και με εμπειρική ανάλυση. Επίσης δημοφιλή είναι οι «κομψές κοπές» (fancy cuts), τα οποία συναντώνται σε διάφορα σχήματα, πολλά από τα οποία προέρχονται από το στρόγγυλο μπριγιάν. Η κοπή ενός διαμαντιού αξιολογείται από εκπαιδευμένους βαθμολογητές – αξιολογητές, με τους υψηλότερους βαθμούς να δίνονται σε λίθους των οποίων η συμμετρία και οι αναλογίες ταιριάζουν περισσότερο με ένα ορισμένο πρότυπο που χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς. Τα αυστηρότερα πρότυπα εφαρμόζονται στο στρόγγυλο μπριγιάν, καθώς, αν και ο αριθμός των εδρών (facets) του είναι αμετάβλητος, οι αναλογίες του δεν είναι. Διαφορετικές χώρες βασίζουν την βαθμολόγησή τους σε διαφορετικά πρότυπα (π.χ. Αμερικανικό ή Σκανδιναβικό Πρότυπο) (Falls, 2014).

4.2 Κοπές διαμαντιών - Οι τύποι και τα χαρακτηριστικά τους

Υπάρχει μια ποικιλία σχημάτων και κοπών διαμαντιών διαθέσιμα στην αγορά, αν και καθένα από αυτά έχει την δική του σημασία, υπεροχή και χαρακτήρα που τα καθιστούν μοναδικά από κάθε άποψη. Τα πιο δημοφιλή σχήματα διαμαντιών που πωλούνται είναι διαμάντια σχήματος στρόγγυλου, ωοειδής ή οβάλ κοπής, απιοειδής κοπής ή αχλαδιού,

διαμάντι σχήματος μαρκησίας (marquise), διαμάντι σχήματος καρδιάς, radiant, η τετράγωνη (princess) κοπή και cushion κοπή (<https://medium.com/@sanghvisons/different-diamond-cuts-shapes-understand-popular-diamond-cuts-bf0f5381eab8>).

➤ Το στρόγγυλο διαμάντι

Η πιο δημοφιλής κοπή διαμαντιών με διαφορά είναι το στρόγγυλο διαμάντι. Στην πραγματικότητα, αυτό το αναγνωρίσιμο σχήμα αποτελεί την πλειοψηφία της φυσικής περιγραφής του πολύτιμου λίθου. Αποτελεί ένα διαχρονικά κλασικό εδώ και πολλά χρόνια και βρίσκεται πάντα υπό υψηλή ζήτηση. Ένα στρόγγυλο διαμάντι με άριστη κοπή παρουσιάζει την ιδιότητα να μεγιστοποιεί την απόδοση του φωτός λόγω της συμμετρικής του δομής.

➤ Το διαμάντι σχήματος ωσειδές (οβάλ)

Τα πιο πρόσφατα χρόνια, το διαμάντι οβάλ σχήματος έχει παρουσιάσει μια αναζωπύρωση δημοτικότητας. Το εκτεταμένο σχήμα του δίνει μια εξαιρετική εμφάνιση από άλλα σχήματα διαμαντιών με το αντίστοιχο βάρος σε καράτια, ενώ το λεπτό του σώμα του προσδίδει μια μοναδική, επιμνησμένη εμφάνιση. Το διαμάντι αυτό είναι λιγότερο πιθανό να σπάσει επειδή δεν έχει αιχμηρές γωνίες.

➤ Το διαμάντι μαρκησία (Marquise)

Το διαμάντι σχήμα μαρκησίας, είναι μια διαχρονική και ξεχωριστή μορφή διαμαντιού και έχει ένα ξεχωριστό σχήμα “χαμόγελου”. Τα αιχμηρά άκρα των διαμαντιών αυτών παρέχουν στο απαλά στρογγυλεμένο κέντρο ένα εντυπωσιακό και συναρπαστικό φινίρισμα.

➤ Το διαμάντι σχήματος «αχλαδιού»

Το στυλ – σταγόνας των διαμαντιών σε σχήματος αχλαδιού, συνδυάζει την στρόγγυλη και την μαρκησία κοπή. Η λεπτή μορφή του αχλαδιού δημιουργεί μια λεία και ντελικάτη εμφάνιση, ενώ παρουσιάζει μια εξαιρετική συμμετρία. Τα διαμάντια αυτά έχουν τέτοια κοπή ώστε να παρέχεται η μέγιστη λάμψη.

➤ Το διαμάντι σχήματος «καρδιάς»

Ένα διαμάντι σε σχήμα καρδιάς είναι μια εκπληκτική, μοναδική και εναλλακτική λύση για τις πιο συμβατικές επιλογές και ένα διαχρονικό σύμβολο αγάπης. Ένα καλά κομμένο διαμάντι σε



σχήμα καρδιάς είναι πιο οικονομικό από το αντίστοιχο στρογγυλο διαμάντι συγκρίσιμου μεγέθους λόγω της χαρακτηριστικής μορφής και της εμφανούς αναγνώρισής του.

➤ Το διαμάντι σχήματος «Radiant»

Το διαμάντι σχήματος “Radiant” παρουσιάζει ορθογώνιο σχήμα και στρογγυλεμένες γωνίες. Αν και έχει παρόμοια μορφή με την κοπή σμαραγδιού, διαφέρει στην ουσία, καθώς δεν έχει την κλιμακωτή (step cut) κοπή του σμαραγδιού. Ένα τέτοιο διαμάντι αντιπροσωπεύει ένα ορθογώνιο διαμάντι κοπής «Princess» με τετραγωνισμένες πλευρές περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο.

➤ Το διαμάντι σχήματος τετραγώνου (Princess)

Παραδοσιακά, ένα διαμάντι Princess είναι ένας τετράγωνος λίθος με εξαιρετική φωτιά και λάμψη. Το πρίσμα αναστροφής της ακατέργαστης πέτρας διαμαντιού χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία αυτού του εξωτικού σχήματος διαμαντιού. Η διαδικασία κοπής είναι εξαιρετικά δύσκολη διότι προκύπτει από την αρχική ακατέργαστη πέτρα.

➤ Το διαμάντι σχήματος μαξιλαριού (cushion ή pillow)

Μια από τις μορφές διαμαντιών που ήταν ιδιαίτερα δημοφιλείς πριν από έναν αιώνα και πρόσφατα έγινε ξανά της μόδας είναι το διαμάντι σχήματος μαξιλαριού. Έχει φαρδιές έδρες και στρογγυλεμένες γωνίες. Τα διαμάντια αυτά έχουν το λιγότερο βολικό σχήμα για την διατήρηση ενός συγκεκριμένου χρώματος.

Η ποιότητα του σχεδιασμού και η δεξιότητα που χρησιμοποιείται στην κοπή ενός διαμαντιού είναι αυτό που καθορίζει την εμφάνισή του. Οι γωνίες στις οποίες κόβονται οι έδρες, οι αναλογίες του σχεδίου και η ποιότητα της στίλβωσης που λαμβάνει μέρος είναι αυτά που καθορίζουν την όψη, την λάμψη, τον σπινθηρισμό, το σχέδιο και την φωτιά του. Οι ιδανικοί λίθοι στιλβώνονται με τέλειο τρόπο ώστε να αντανακλούν και να εκπέμπουν την μέγιστη ποσότητα φωτιάς. Οι αντίστοιχες έδρες είναι ίσες σε μέγεθος και πανομοιότυπες σε σχήμα και οι άκρες κάθε πολύπλευρης έδρας εφάπτονται τέλεια με κάθε μια γειτονική έδρα (Hobart, 2015).

4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την κοπή ενός διαμαντιού

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αξία και την τιμή ενός διαμαντιού είναι η ποιότητα κοπής του. Μια πληθώρα στοιχείων εμπλέκονται στην ποιότητα μιας κοπής,

συμπεριλαμβανομένων των αναλογιών, των εδρών, των λεπτομερειών φινιρίσματος και της ικανότητάς του λίθου να ανακλά το φως. Όσο καλύτερα είναι αυτά τα χαρακτηριστικά στο σύνολό τους, τόσο υψηλότερη είναι η ποιότητα του διαμαντιού και ως επακόλουθο, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του. Ενώ το χρώμα και η διαύγεια παίζουν έναν άλφα ρόλο στην ομορφιά ενός διαμαντιού, η κοπή είναι το πιο κρίσιμο από τα 4C.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή ενός διαμαντιού είναι:

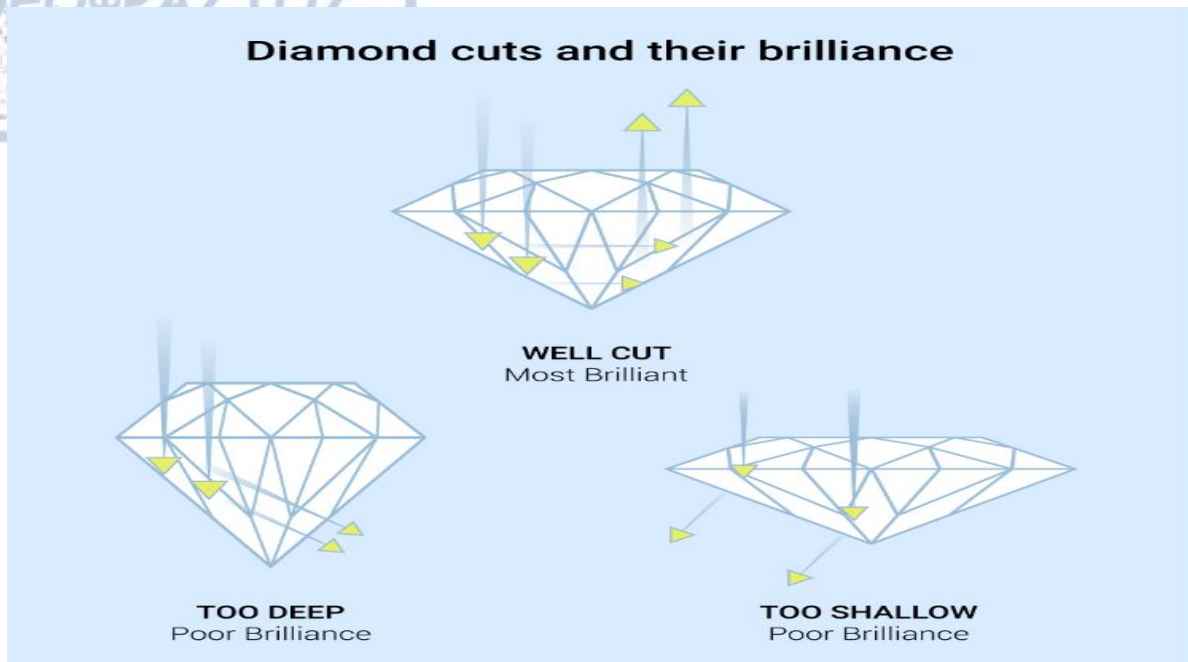
- Οι αναλογίες (τράπεζα - “table”, πλάτος, βάθος)
- Οι συμμετρικές έδρες του (οι καθρέφτες - “mirrors”, τα παράθυρα – “windows” και οι κλιμακωτές έδρες – “steps”)
- Λαμπρότητα (φωτεινότητα αντανάκλασης λευκού φωτός)
- Φωτιά (διασπορά έγχρωμου φωτός)
- Σπινθηρισμός (οι εκλάμψεις σπινθηρισμού όταν κινείται το φως)
- Λεπτομέρειες φινιρίσματος (μόνιμη επεξεργασία και στίλβωμα – γυάλισμα)

1. Οι αναλογίες κοπής διαμαντιών

Προκειμένου να γίνει βαθύτερη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα κοπής του διαμαντιού, εξετάζονται οι αναλογίες ενός διαμαντιού, κυρίως η τράπεζα, το πλάτος και το βάθος του. Αυτά τα στοιχεία μετρούνται παγκοσμίως και αποτελούν εξαιρετικούς δείκτες της ποιότητας κοπής ενός διαμαντιού. Οι αναλογίες αυτές επηρεάζουν άμεσα την ικανότητα ενός διαμαντιού να ανακλά το φως και να παρουσιάζει έτσι λάμψη. Οι αναλογίες κοπής βασίζονται στις αναλογίες μεταξύ μεγέθους, γωνίας και σχήματος κάθε έδρας διαμαντιού. Διάφοροι συνδυασμοί αυτών των στοιχείων επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο το διαμάντι θα αλληλοεπιδράσει με το φως, κάτι που καθορίζει την λάμψη του (καθώς και την βαθμονόμηση GIA). Διαφορετικά σχήματα διαμαντιών παρουσιάζουν διαφορετικές αναλογίες των στοιχείων αυτών (Fried, 2023).

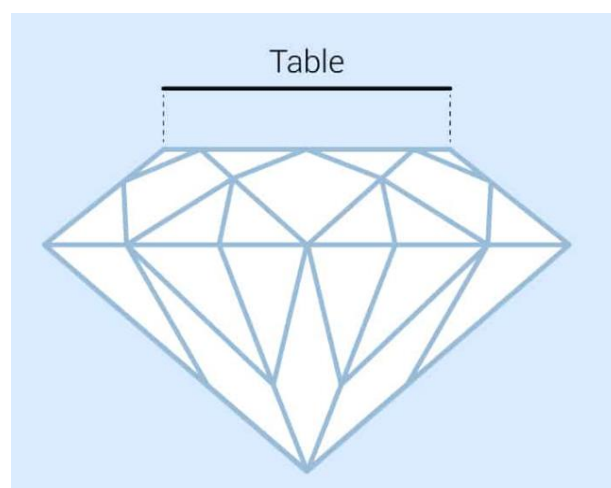
Το % της τράπεζας του διαμαντιού προσδιορίζεται διαιρώντας το πλάτος της τράπεζας (επιφάνεια κορυφής) με το πλάτος (διάμετρος) του διαμαντιού. Για παράδειγμα, εάν η επιφάνεια της τράπεζας έχει πλάτος 3,5 mm και το διαμάντι έχει πλάτος 5 mm, το % της τράπεζας είναι 70%.

Εάν το ποσοστό της τράπεζας είναι πολύ μεγάλο, το φως δεν αντανακλάται από τις γωνίες και τις έδρες της κορώνας του διαμαντιού.

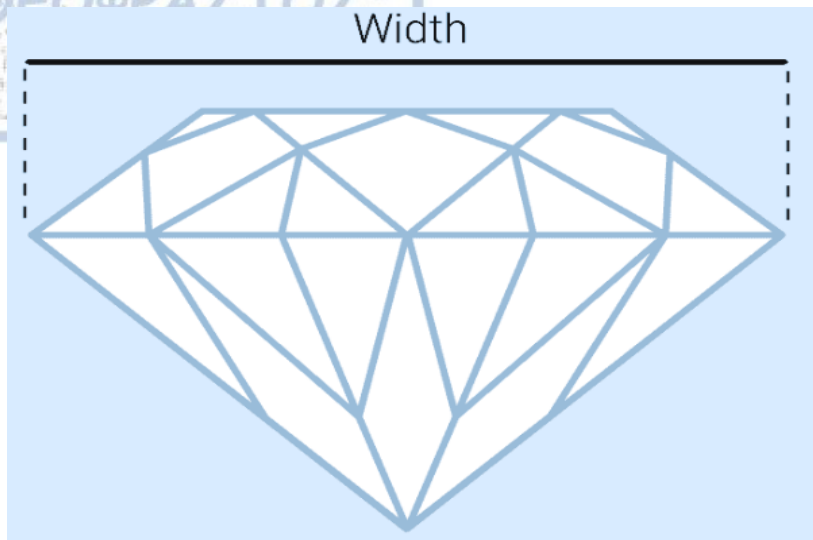


Σχήμα 18. Διάφοροι τύποι ποιότητας κοπής επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο ένα διαμάντι αντανακλά το φως και κατά συνέπεια την λάμψη του (Fried, 2023).

Οι ζωνιές αντανακλάσεις του χρώματος δεν θα φαίνονται, καθώς το φως θα ξεφεύγει από την κορυφή του διαμαντιού αντί να φτάσει στο μάτι του παρατηρητή. Στην περίπτωση που το ποσοστό της τράπεζας είναι πολύ χαμηλό, το φως θα παραμείνει παγιδευμένο μέσα στο διαμάντι και θα εκπέμπεται μέσω άλλων τμημάτων του διαμαντιού. Έτσι, το ιδανικό ποσοστό της τράπεζας του διαμαντιού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σχήμα του διαμαντιού (Σχήματα 18 και 19).



Σχήμα 19. Σχηματική απεικόνιση της τράπεζας ενός διαμαντιού (Fried, 2023).

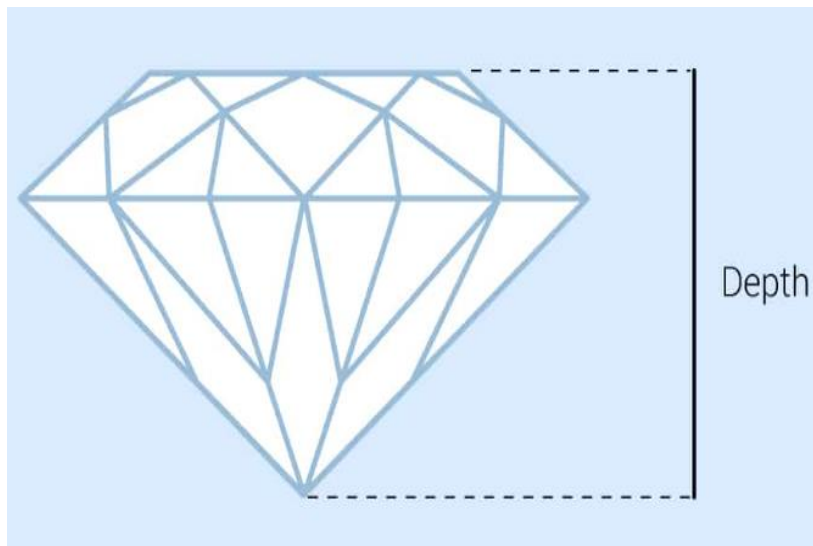


Σχήμα 20. Σχηματική απεικόνιση του πλάτους ενός διαμαντιού (Fried, 2023).

πόσο αντιστοιχεί ένα διαμάντι στο επιδιωκόμενο σχήμα του (π.χ. τετράγωνο έναντι ορθογώνιου). Ο λόγος μήκους προς πλάτος μετράται διαιρώντας το μήκος του διαμαντιού με το πλάτος. Για παράδειγμα, εάν ένα διαμάντι έχει μήκος 5 mm και πλάτος 3 mm, η αναλογία μήκους προς πλάτος είναι 1,67.

Το πλάτος ενός διαμαντιού προσδιορίζεται με την μέτρηση από το ένα άκρο της ζώνης (η διάμετρος στο φαρδύτερο σημείο του) μέχρι το άλλο άκρο της ζώνης (Σχήμα 20).

Το πλάτος είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν πρόκειται για τον προσδιορισμό της αναλογίας μήκους προς πλάτος, που υποδηλώνει το



Σχήμα 21. Σχηματική απεικόνιση του βάθους ενός διαμαντιού (Fried, 2023)

βάθος με το πλάτος, προκύπτει το % του βάθους. Για παράδειγμα εάν ένα διαμάντι έχει βάθος 4 mm και πλάτος 4,5 mm, το ποσοστό βάθος είναι 88.88% (Fried, 2023). Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα χαμηλότερο % βάθος δύο διαμαντιών ίσων καρατίων θα φαίνεται μεγαλύτερο λόγω του αυξημένου πλάτους. Από την άλλη, ένα % βάθος που είναι πολύ χαμηλό μπορεί να δημιουργήσει μια πιο σκοτεινή εμφάνιση, καθώς δεν αντανακλά το φως με την ίδια ισχύ.

Το ποσοστό του βάθους αναφέρεται στο ύψος του διαμαντιού από το “culet” (το μικρό μυτερό τμήμα όπου συναντώνται οι έδρες του διαμαντιού στο κάτω μέρος, δηλαδή το κάτω μέρος του διαμαντιού) μέχρι την κορυφή της τράπεζας του διαμαντιού. Το βάθος μετράται σε χιλιοστά και ποσοστά. Διαιρώντας το

2. Οι συμμετρικές έδρες του διαμαντιού

Οι έδρες ενός διαμαντιού είναι οι μικροσκοπικοί καθρέφτες που αντανακλούν το φως και περιβάλλουν την τράπεζα του διαμαντιού. Υπάρχουν έδρες πάνω και κάτω από την ζώνη του διαμαντιού. Το "pavilion" (το τμήμα του διαμαντιού που βρίσκεται κάτω από την ζώνη και φτάνει μέχρι το culet) αποτελείται επίσης από μια πληθώρα εδρών. Τα στρόγγυλα διαμάντια μπριγιάν έχουν 58 έδρες συνολικά. Το μέγεθος, η τοποθεσία και η συμμετρία των εδρών επηρεάζουν το πόσο καλά το διαμάντι διαθλά και αντανακλά το φως. Ένα διαμάντι με έδρες που δεν έχουν αναλογία, υπερβολικά πολλές έδρες ή λιγότερες, μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα το διαμάντι αυτό να είναι κατώτερο από το πρότυπο.

3. Η λαμπρότητα του διαμαντιού

Η λαμπρότητα ενός διαμαντιού είναι η φωτεινότητα της αντανάκλασης του λευκού φωτός. Ένα διαμάντι που δεν είναι συμμετρικό, έχει είτε πολύ ρηχή είτε πολύ βαθιά κοπή και μπορεί να παρουσιάζεται ως θαμπό αντί για λαμπρό.

4. Η φωτιά του διαμαντιού

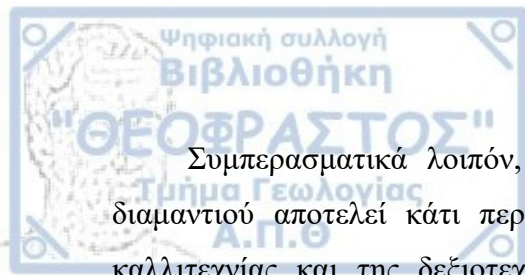
Η φωτιά ενός διαμαντιού είναι η ποσότητα του έγχρωμου φωτός που αντανακλάται από την τράπεζα και τις έδρες του. Τα διαμάντια με άριστη κοπή δεν έχουν μόνο λάμψη αλλά και φωτιά. Εάν το διαμάντι δεν παρουσιάζει έγχρωμη αντανάκλαση φωτός, το διαμάντι έχει χαμηλή ποσότητα φωτιάς.

5. Ο σπινθηρισμός του διαμαντιού

Ο σπινθηρισμός του διαμαντιού αναφέρεται στις εκλάμψεις του σπινθηρισμού όταν το φως κινείται στην τράπεζα και στις έδρες του διαμαντιού. Η σκέδαση του φωτός μοιάζει με λάμψη και προκαλείται από τις φωτεινές και τις σκοτεινές περιοχές στην επιφάνεια του διαμαντιού. Ένα διαμάντι με μεγάλη ποσότητα σπινθηρισμού είναι μεγαλύτερης αξίας, καθώς ένα αντίστοιχο διαμάντι με πολύ χαμηλότερο σπινθηρισμό μπορεί να φαίνεται θαμπό.

6. Οι λεπτομέρειες φινιρίσματος του διαμαντιού

Οι λεπτομέρειες φινιρίσματος είναι η αριστοτεχνία του διαμαντιού και περιλαμβάνουν την μόνιμη επεξεργασία και το στίλβωμα που έχει υποστεί το διαμάντι. Το στίλβωμα αναφέρεται στην κατάσταση και την ποιότητα των επιφανειών των εδρών του. Ένα διαμάντι με πολύ καλό στίλβωμα δημιουργεί καθαρό καθρέφτη και αντανακλά άριστα το φως, αντίθετα ένα διαμάντι με κακή στίλβωση φαίνεται θαμπό επειδή οι έδρες δεν αντανακλούν το φως εξίσου καλά.



Συμπερασματικά λοιπόν, εύκολα μπορεί να καταλάβει κανείς πως η κοπή ενός διαμαντιού αποτελεί κάτι περισσότερο από ένα απλό σχήμα. Είναι μια απόδειξη της καλλιτεχνίας και της δεξιοτεχνίας που δίνει ζωή σε ένα διαμάντι. Η ακρίβεια και η πολυπλοκότητα μιας κοπής επηρεάζουν άμεσα την λάμψη, την φωτιά και την συνολική ομορφιά ενός διαμαντιού. Διαμάντια με εξαιρετική ποιότητα κοπής αντανακλούν το φως βέλτιστα και έχουν τις υψηλότερες τιμές στην αγορά, αφού η ποιότητα της κοπής είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες κατά την τιμολόγηση των διαμαντιών.

5. Δομή διαμαντιού

Το διαμάντι γενικά θεωρείται πως είναι ένας από τους πιο τέλειους κρυστάλλους που υπάρχουν στη φύση: η ατομική του δομή ερευνήθηκε για πρώτη φορά κατά την αρχή λειτουργίας και χρήσης ακτίνων X για την ανάλυση κρυστάλλων. Αποδείχθηκε ότι τα άτομα του κρυστάλλου ήταν διατεταγμένα σε δύο αλληλοδιεισδυτικά κεντρικά πλέγματα, με την γωνία του ενός κύβου να βρίσκεται στο ένα τέταρτο της διαδρομής κατά μήκος της διαγώνιας του κύβου του άλλου. Το αν ο προκύπτων κρύσταλλος είχε πλήρη οκταεδρική συμμετρία ή ήταν του κατώτερου τετραεδρικού τύπου – ένα ερώτημα το οποίο δίχασε τους κρυσταλλογράφους – θα μπορούσε να διευθετηθεί από τα πρόσθετα στοιχεία ακτίνων X. Νέο ενδιαφέρον για την δομή του διαμαντιού προκλήθηκε από την έρευνα των (Robertson et al., 1936), οι οποίοι παρουσίασαν ότι η υπέρυθη απορρόφηση και η υπεριώδης διαφάνεια των διαμαντιών τα κατατάσσουν σε δύο κατηγορίες. Από τους δύο τύπους, ο πρώτος και ο συνηθέστερος ήταν αδιαφανής τόσο στην υπέρυθη όσο και στην υπεριώδη ακτινοβολία, ενώ ο δεύτερος, ο Τύπος II, είναι σπάνιος και διαφανής στις ακτινοβολίες αυτές. Οι πιο πρόσφατες έρευνες με την χρήση ακτίνων X των (Lonsdale & Smith, 1941) παρόλο που έδειξαν ότι και οι δύο τύποι είναι δομικά πανομοιότυποι σε ατομική κλίμακα, υπάρχουν ανωμαλίες στα σχήματα περίθλασης των διαμαντιών Τύπου I που υποδηλώνουν κάποιου είδους δομικής διαφοράς «μωσαϊκού» μεταξύ των δύο τύπων. Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν είναι στην πραγματικότητα πολύ παρόμοια με το είδος ανωμαλίας που παρατηρείται στα φάσματα ακτινών X των κραμάτων που έχουν σκληρύνει με την πάροδο του χρόνου και των κραμάτων με υψηλή δύναμη απομαγνητισμού. Έτσι τα αποτελέσματα που προέκυψαν προτείνουν μια πολυστρωματική δομή (Preston, 1945).

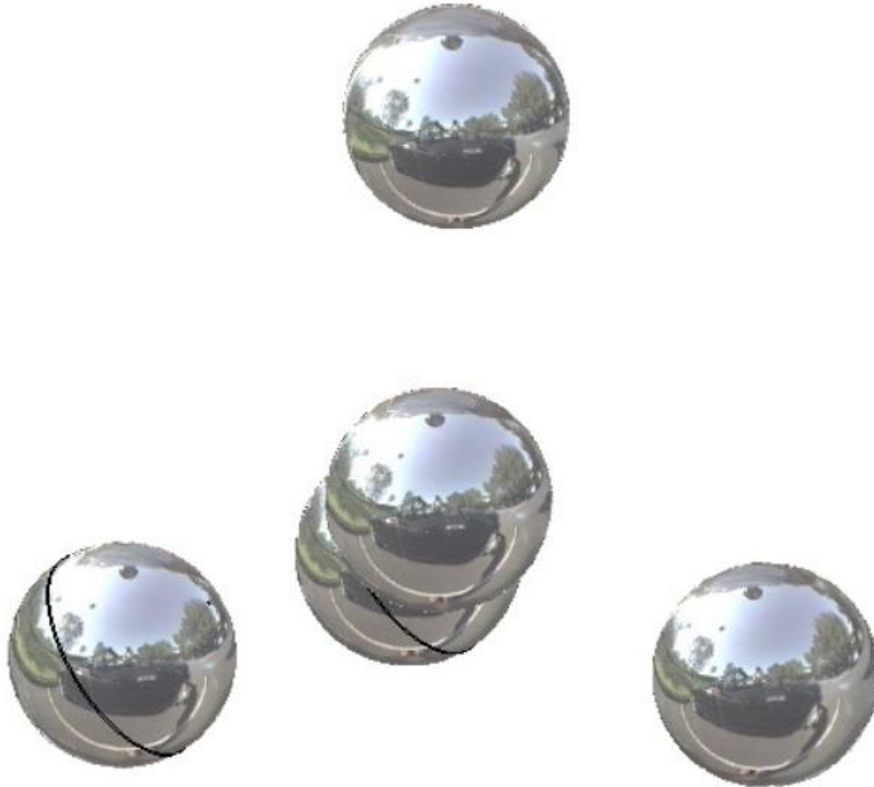
5.1 Κρυσταλλική δομή

Τα διαμάντια κρυσταλλώνονται στο κυβικό σύστημα. Το απλούστερο σχήμα αυτού του συστήματος είναι το τετράεδρο, ένα τρισδιάστατο σχήμα τεσσάρων εδρών – οι τέσσερις είναι ο ελάχιστος αριθμός εδρών που μπορεί να έχει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Το τετράεδρο ανήκει στην ανθιμεδρία του κυβικού συστήματος.

5.1.1 Τετράεδρο

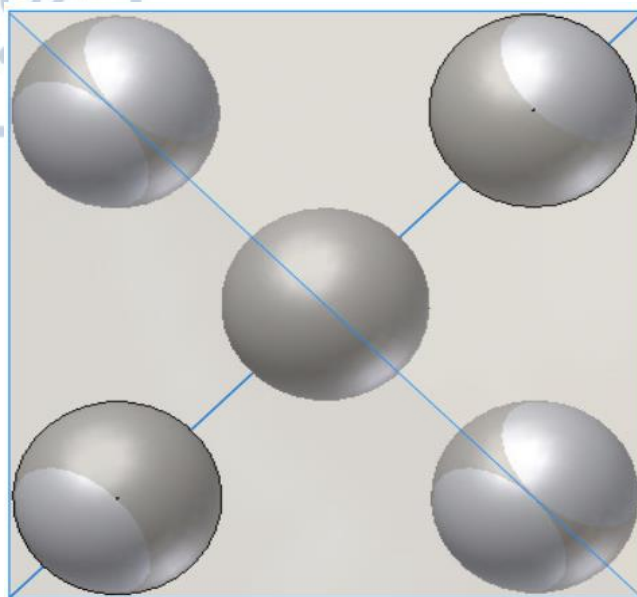
Το σχήμα αυτό μοιάζει με το βασικό ατομικό δομικό στοιχείο του διαμαντιού, δηλαδή την τετραεδρική συσσωμάτωση ή διάταξη (tetrahedral cluster). Τα τέσσερα εξωτερικά άτομα

καταλαμβάνουν τη θέση στα τέσσερα σημεία του τετραέδρου. Εκτός από αυτά τα τέσσερα άτομα, η τετραεδρική διάταξη έχει επίσης ένα άτομο στο κέντρο του συμπλέγματος, εξού και το όνομα ενδοκεντρωμένη τετραεδρική διάταξη (body centered tetrahedral cluster). Οι σφαίρες στο Σχήμα 22 αντιπροσωπεύουν την θέση των ατόμων, με κλίμακα μεγέθους και χωρικές αποστάσεις (Botha et al., 2006).



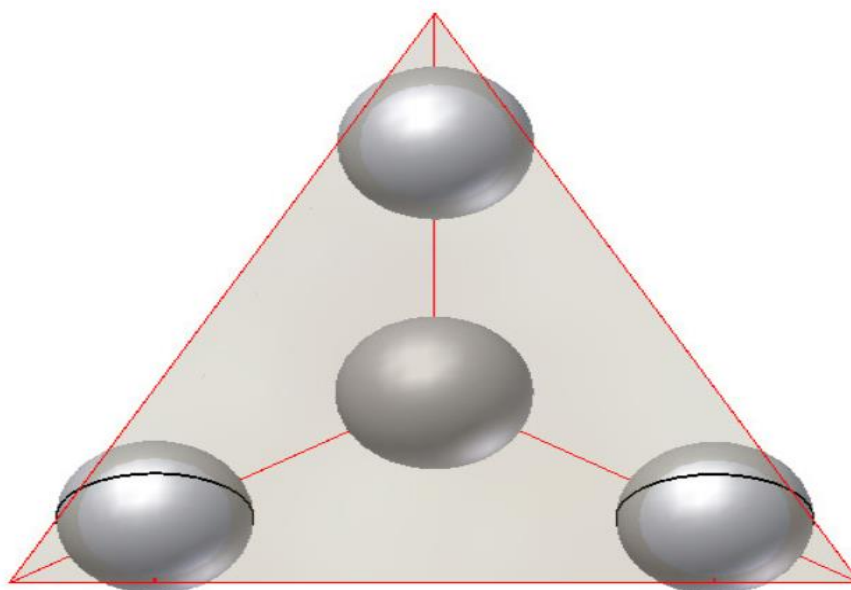
Σχήμα 22. Η τετραεδρική διάταξη (tetrahedral cluster) (Botha et al., 2006).

Τετραεδρική διάταξη εντός του τετραέδρου – όψη κάθετα στην (100) . Στην προβολή αυτή, όλα τα άτομα είναι ορατά. Υπάρχουν δύο άτομα στα δύο κατώτατα σημεία του τετραέδρου και δύο άτομα στα δύο κορυφαία σημεία του. Το κεντρικό άτομο φαίνεται καθαρά κεντραρισμένο και περιβάλλεται από τα υπόλοιπα. Από γεωμετρική άποψη, όλα τα γειτονικά άτομα είναι διατεταγμένα σε ίση απόσταση μεταξύ τους (Σχήμα 23).



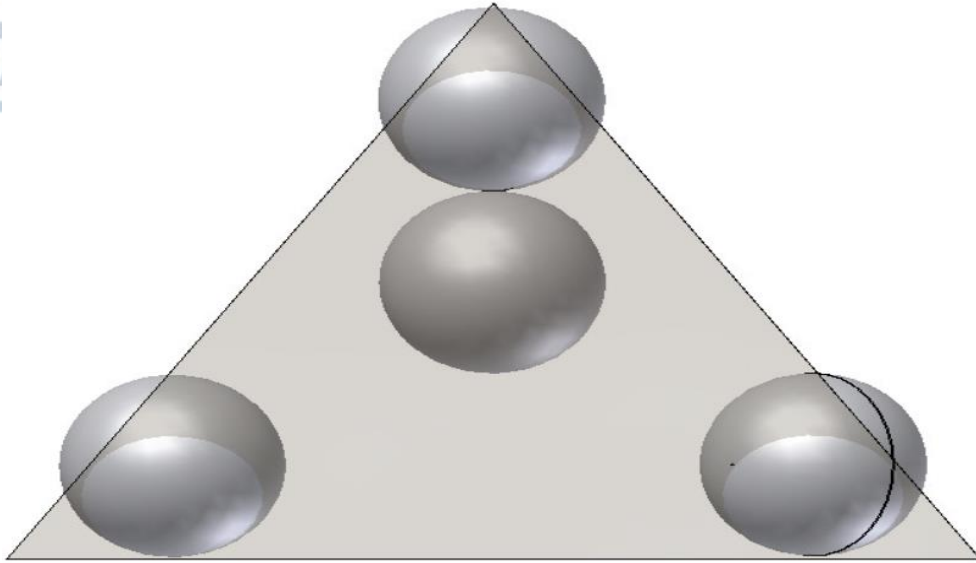
Σχήμα 23. Τετραεδρική διάταξη εντός του τετραέδρου – όψη κάθετα στην (100) (Botha et al., 2006).

Τετραεδρική διάταξη εντός του τετραέδρου – όψη κάθετα στην (111). Στην όψη αυτή, το άτομο στο πιο απομακρυσμένο σημείο του τετραέδρου βρίσκεται πίσω από το κεντρικό άτομο (Σχήμα 24).



Σχήμα 24. Τετραεδρική διάταξη εντός τετραέδρου – όψη κάθετα στην (111) (Botha et al., 2006).

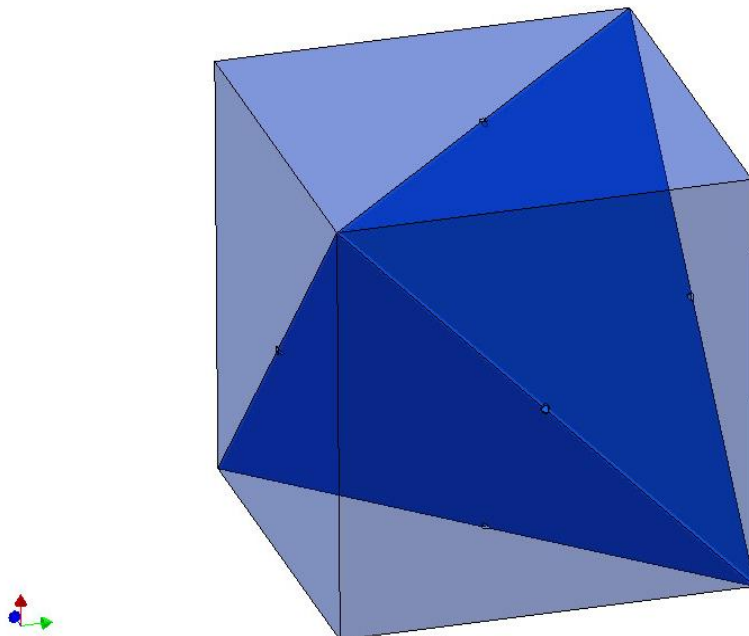
Τετραεδρική διάταξη εντός του τετραέδρου – όψη κάθετη στην (110). Στην όψη αυτή, το άτομο στο πιο απομακρυσμένο κορυφαίο σημείο βρίσκεται πίσω από το άτομο στο πλησιέστερο κορυφαίο σημείο (Σχήμα 25).



Σχήμα 25. Τετραεδρική διάταξη εντός τετραέδρου –όνη κάθετα στην (110) (Botha et al., 2006).

Πως ταιριάζουν μεταξύ τους

Η τετραεδρική μορφή του διαμαντιού εμφανίζεται πολύ σπάνια στην φύση. Οι έξι ακμές του τετραέδρου αντιστοιχούν στις έξι έδρες του κύβου (Σχήμα 26). Τα διαμάντια εμφανίζονται στη φύση κατά κύριο λόγο ως κύβοι και ορισμένα ορυχεία παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραγωγή κυβικών διαμαντιών, ιδίως το Orapa στη Μποτσουάνα. Κυβικά διαμάντια εμφανίζονται επίσης σε ορισμένα ορυχεία του Καναδά, καθώς και στο Mbuji Mayi στο Κονγκό. Τα διαφορετικά σχήματα διαμαντιών είναι όλα αλληλένδετα.



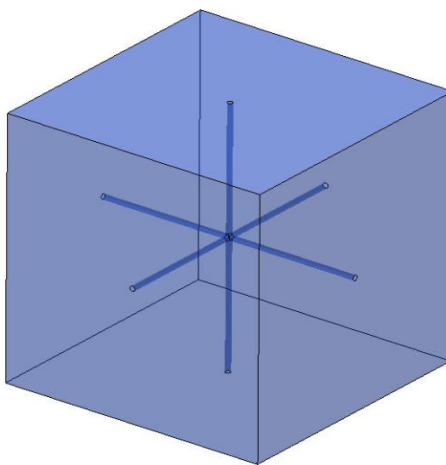
Σχήμα 26. Συσχέτιση μεταξύ τετραέδρου και κύβου (Botha et al., 2006).

5.2 Σχήματα κρυστάλλων διαμαντιών

Η κρυσταλλογραφία είναι η μελέτη του σχηματισμού, της δομής και των ιδιοτήτων των κρυστάλλων. Η δομή των κρυστάλλων ορίζεται από την ιδιαίτερη επαναλαμβανόμενη διάταξη των ατόμων σε όλο τον κρύσταλλο. Η εξωτερική εμφάνιση των κρυστάλλων σχετίζεται συχνά με την εσωτερική διάταξη των ατόμων. Υπάρχουν έξι βασικά σχήματα κρυστάλλων για τα διαμάντια – το εξάεδρο, το οκτάεδρο, το ρομβικό δωδεκάεδρο, το εξοκταδωδεκάεδρο, το τρισοκτάεδρο και το εξάκισ τετράεδρο.

5.2.1 Εξάεδρο

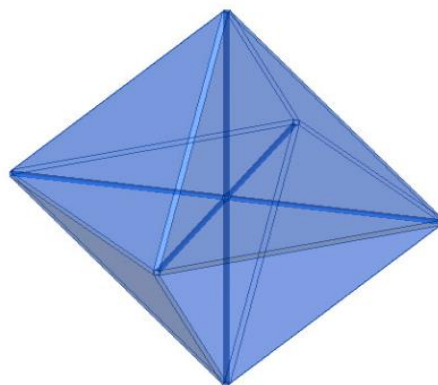
Το εξάεδρο, αντιπροσωπεύεται από τον κύβο και σημαίνει πως έχει έξι έδρες (Σχήμα 27). Ο κύβος έχει οκτώ γωνίες που αντιστοιχούν στις οκτώ έδρες ενός οκταέδρου. Οι δώδεκα ακμές του κύβου αντιστοιχούν στις δώδεκα έδρες ενός δωδεκάεδρου.



Σχήμα 27. Σχηματική απεικόνιση ενός εξάεδρου (Botha et al., 2006).

5.2.2 Οκτάεδρο

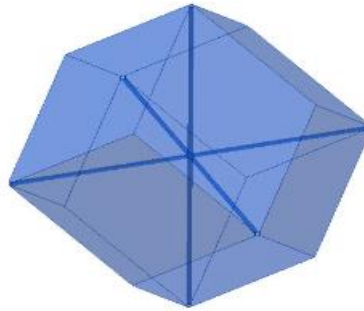
Το οκτάεδρο είναι το πιο αναγνωρίσιμο σχήμα κρυστάλλου για τα διαμάντια. Τα ρωσικά και καναδέζικα διαμάντια κρυσταλλώνονται σε αυτήν την τάξη (Σχήμα 28).



Σχήμα 28. Σχηματική απεικόνιση ενός οκτάεδρου (Botha et al., 2006).

5.2.3 Ρομβικό Δωδεκάεδρο

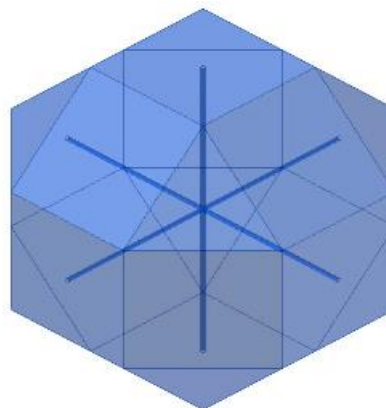
Αυτό το σχήμα κρυστάλλου διαμαντιού είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο, ειδικά στα κοιτάσματα που εντοπίζονται στην Αφρική (Σχήμα 29). Είναι ιδιαίτερα δημοφιλές λόγω της υψηλής απόδοσής του όταν κόβεται σε στρογγυλά διαμάντια σχήματος «μαξιλαριού» («cushion shape diamonds»).



Σχήμα 29. Σχηματική αναπαράσταση ενός δωδεκάεδρου (Botha et al, 2006).

5.2.4 Εξοκταδωδεκάεδρο

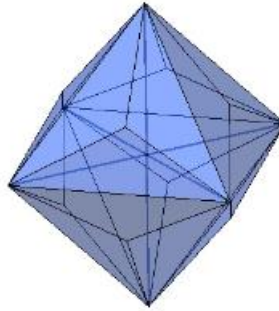
Το εξοκταδωδεκάεδρο είναι ένα πολύ ενδιαφέρον σχήμα κρυστάλλου καθώς διακρίνονται όλες οι κρυσταλλικές όψεις – έδρες του κυβικού συστήματος ($6 + 8 + 12 = 26$). Ακατέργαστα βιομηχανικά διαμάντια από το Mbuji Mayi του Κονγκό έχουν κρυσταλλωθεί σε αυτό το σχήμα (Σχήμα 30).



Σχήμα 30. Σχηματική αναπαράσταση ενός εξοκταδωδεκάεδρου (Botha et al., 2006).

5.2.5 Τρις οκτάεδρο

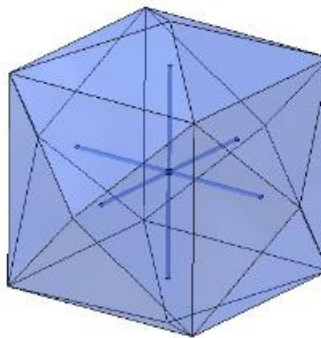
Αυτό το σχήμα κρυστάλλου μοιάζει με το κλασικό οκτάεδρο. Τα οκτώ οκταεδρικά κέντρα εδρών είναι ελαφρώς ανυψωμένα στο κέντρο με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν τρεις κρυσταλλικές έδρες αντί για μια, εξ' ου και το όνομα Τρις (3) οκτάεδρο (Σχήμα 31).



Σχήμα 31. Σχηματική απεικόνιση ενός τρις οκταέδρου (Botha et al., 2006).

5.2.6 Τετράκις εξάεδρο

Το σχήμα αυτό είναι ένα υβρίδιο ανάμεσα σε ένα εξάεδρο (κύβο) και ένα δωδεκάεδρο. Οι δωδεκαεδρικές έδρες έχουν ακμές (τις ακμές του κύβου) που εκτείνονται εγκάρσια πάνω από τις έδρες αυτές. Το όνομα βασίζεται στα χαρακτηριστικά υπερυψωμένα κέντρα των εδρών του κύβου που έχουν μια επίπεδη πυραμιδική εμφάνιση τεσσάρων εδρών, εξ' ου και το όνομα Τετράκις (4) εξάεδρο (Σχήμα 32).



Σχήμα 32. Σχηματική απεικόνιση ενός τετράκις εξάεδρου (Botha et al., 2006).

Το διαμάντι παρουσιάζει ένα ευρύ διάκενο ζώνης που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας των 225 νανομέτρων. Αυτό σημαίνει πως το καθαρό διαμάντι μεταδίδει από την φύση του ορατό φως και εμφανίζεται ως ένας διαυγής άχρωμος κρύσταλλος. Τα διάφορα χρώματα των διαμαντιών προέρχονται από δομικά ελαττώματα και προσμίξεις που εντοπίζονται στο πλέγμα τους. Το κρυσταλλικό πλέγμα των διαμαντιών είναι εξαιρετικά ισχυρό και συμπαγές και μόνο άτομα αζώτου, βορίου και υδρογόνου μπορούν να εμφανιστούν ως προσμίξεις κατά την ανάπτυξη ενός διαμαντιού σε σημαντικές συγκεντρώσεις. Προκειμένου να εντοπιστούν οι χημικές αυτές προσμίξεις και οι ποσότητες αυτών που εμπεριέχονται σε ένα διαμάντι, χρησιμοποιείται η φασματοσκοπία απορρόφησης.

Οι διάφοροι τύποι διαμαντιών αντιστοιχούν σε μια μέθοδο επιστημονικής ταξινόμησης των διαμαντιών με βάση το επίπεδο και τον τύπο των χημικών προσμίξεών τους. Τα διαμάντια χωρίζονται σε πέντε τύπους: Τύπος IaA, Τύπος IaB, Τύπος Ib, Τύπος IIa, Τύπος IIb. Διαφορετικοί τύποι διαμαντιών αντιδρούν με διαφορετικούς τρόπους στις τεχνικές βελτίωσης και ενίσχυσης διαμαντιών. Διαφορετικοί τύποι μπορούν να συνυπάρχουν μέσα σε ένα διαμάντι, αφού τα φυσικά διαμάντια αποτελούν συχνά μίγματα Τύπου Ia και Ib.

Η κοπή αποτελεί έναν από τους τέσσερις κύριους δείκτες της ποιότητας του διαμαντιού, γνωστοί ως οι 4C. Σχετίζεται άμεσα με τις αναλογίες και τις ιδιότητες του διαμαντιού, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο την λάμψη του. Η κοπή αναφέρεται επιπλέον στο σχήμα, στη συμμετρία, την αναλογία και την στίλβωση ενός διαμαντιού.

Το διαμάντι θεωρείται πως είναι το πιο καθαρό κρυσταλλικό αλλότροπο άνθρακα. Τα άτομα άνθρακα από τα οποία αποτελείται η δομή του διαμαντιού συνδέονται μεταξύ τους τετραεδρικά και κάθε τετραεδρική μονάδα αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα που συνδέεται με τέσσερα άλλα άτομα άνθρακα, τα οποία στην συνέχεια συνδέονται με άλλους άνθρακες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός αλλότροπου άνθρακα με τρισδιάστατη διάταξη ατόμων C. Οι κρύσταλλοι διαμαντιών μπορούν να σχηματίσουν μια ποικιλία σχημάτων λόγω της κυβικής τους μορφής και της εξαιρετικά συμμετρικής διάταξης των ατόμων. Η μορφή οκτάεδρου είναι η πιο συνηθισμένη κρυσταλλική μορφή. Οι κρύσταλλοι διαμαντιών μπορούν επίσης να λάβουν σχήματα κύβων, δωδεκάεδρων και συνδυασμούς αυτών.



7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Bennet, A. M., Wickham, B. J., Dhillon, H., Chen, Y., Webster, S., & Bass, M. (2014, January). Development of High Purity, Optical Grade Single Crystal CVD Diamond for Intra-Cavity Cooling. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. doi:10.1117/12.2037811
- Bosshart, G. (1989). The Dresden Green. *Journal of Gemmology and Proceedings of the Gemmological Association of Great Britain*, 21(6), 352-362.
doi:<https://doi.org/10.15506/jog.1989.21.6.351>
- Botha, M., Keenan, C., & Ward, R. (2006). Three-Dimensional Solid Modeling in Applied Diamond Crystallography. *Gems & Gemology*, 42(3).
- Breeding, C. M., & Shigley, J. E. (2009, July). Breeding, C.M., & Shigley, J.E. (2009). The "Type" Classification System of Diamonds and Its Importance in Gemology. *Gems & Gemology*, 96-111.
- Clark, C. D., Mitchell, E. J., & Parsons, B. J. (1979). Colour Centers and Optical Properties. *The Properties of Diamond*, 23-77.
- Collins, A. T. (2001). The colour of diamond and how it may be changed. *The Journal of Gemmology*, 27(6), 341-359. doi: <https://doi.org/10.15506/jog.2001.27.6.341>
- Collins, A. T., Kanda, H., & Kitawaka, H. (2000). Colour changes produced in natural brown diamonds by high-pressure, high-temperature treatment. *Diamond and Related Materials*, 9(2), 113-122. doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-9635\(00\)00249-1](https://doi.org/10.1016/S0925-9635(00)00249-1)
- Custers, J. F. (1952). Unusual phosphorescence of a diamond. *Physica*, 18, 489-493.
- Danil, B. W. (2015). Physical Chemistry Chemical Physics, Issue 40. *Royal Society of Chemistry*.
- Falls, S. (2014). *Clarity, cut and culture: The many meanings of diamonds*. New York University Press.
- Fisher, D., & Spits, R. A. (2000). Spectroscopic evidence of GE POL HPHT-treated natural type IIa diamonds. *Gems & Gemology*, 42-49.
- Fried, M. (2023, December 11). *The Diamond Pro*. Ανάκτηση από The Diamond Cuts Guide: <https://www.diamonds.pro/education/cuts/>
- Frisch, E. (1998). *The nature of diamonds* (Τόμ. 2). Cambridge University Press. *Gemmological Institute of America*. (χ.χ.). Ανάκτηση από GIA: www.gia.edu
- Hall, M. S., Wang, W., Tower, J. P., & Moses, T. M. (2007). Latest-generation CVD-grown synthetic diamonds from Apollo Diamond Inc. *Gems & Gemology*, 43, 294-312.
- Harlow, G. E. (1998). *The nature of diamonds - following the history of diamonds* (Τόμ. 5). Cambridge University Press.

Hecht, E. (2002). *Optics, Chapter 2. 4th Edition* Addison Wesley, San Francisco.

Hobart, K. M. (2015). *Geology*. Ανάκτηση 2023, από Geoscience New and Information: <https://geology.com/minerals/diamond.shtml>

Kiflawi, I., Mayer, A. E., Spear, P. M., Wyk, J. A., & Woods, G. S. (1994). Infrared absorption by the single nitrogen and A defect centers in diamond. *Philosophical Magazine Part B*, 69(6), 1141-1147.

King, J. T., Shigley, J. E., Guhin, S. S., Gelb, T. H., & Hall, M. S. (2002). Characterization and grading of Natural-Color Pink Diamonds. *Gems & Gemology*, 38(2), 128-147. Ανάκτηση από <https://doi.org/10.5741/gems.38.2.128>

Lonsdale, K., & Smith, H. (1941). Diffuse X-Ray Diffraction from the Two Types of Diamond. *Nature*, 148, 112-113.

Margolese, B. (2020). *Leibish*. Ανάκτηση από Defining Natural Fancy Colored Diamonds: <https://www.leibish.com/defining-natural-fancy-colored-diamonds-article-396>

Preston, G. D. (1945). Structure of Diamond. *Nature*, 155, 69-70.

Robertson, R., Fox, J. J., & Martin, A. E. (1936, December 2). Further Work on Two Types of Diamond. *Mathematical and Physical Sciences*, 157(892), 579-593.

Tang, C. J., Neves, A. J., & Carmo, M. C. (2005). On the two-phonon absorption of CVD diamond films. *Diamond and Related Materials*, 14(11/12), 1943-1949.

Tappert, R., & Tappert, M. C. (2011). The Colors of Diamonds. Στο *Diamonds in Nature A Guide to Rough Diamonds* (σσ. 43-68). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-12572-0_3

Yassi, R., Ariel, E., Boris, L., Ira, L., Asher, Y., Haim, C., & Yosef, P. (2021). Millimeter wave spectroscopy for evaluating diamond color grades. *Diamond and Related Materials*, 116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108386>

Yuryeva, O. P., Рахманова, М., Zedgenizov, D. A., & Kalinina, V. V. (2020, March 7). Spectroscopic evidence of the origin of brown and pink diamonds family from Internatsionalnaya kimberlite pipe (Siberian craton). *Physics and Chemistry of Minerals*(20), 47-50. doi:<https://doi.org/10.1007/s00269-020-01088-5>

Zaitsev, A. M. (2001). *Optical Properties of Diamond: A Data Handbook*. Berlin: Springer-Verlag.

Ιστοχώροι

<https://www.gia.edu/>

<https://medium.com/@sanghvisons/different-diamond-cuts-shapes-understand-popular-diamond-cuts-bf0f5381eab8>