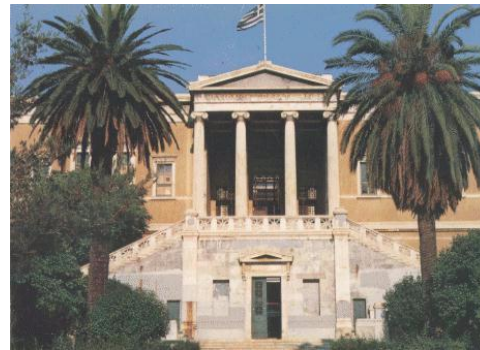


Ακτίνες laser στην οδοντιατρική

Τεχνολογία ιατρικών laser στην Οδοντιατρική

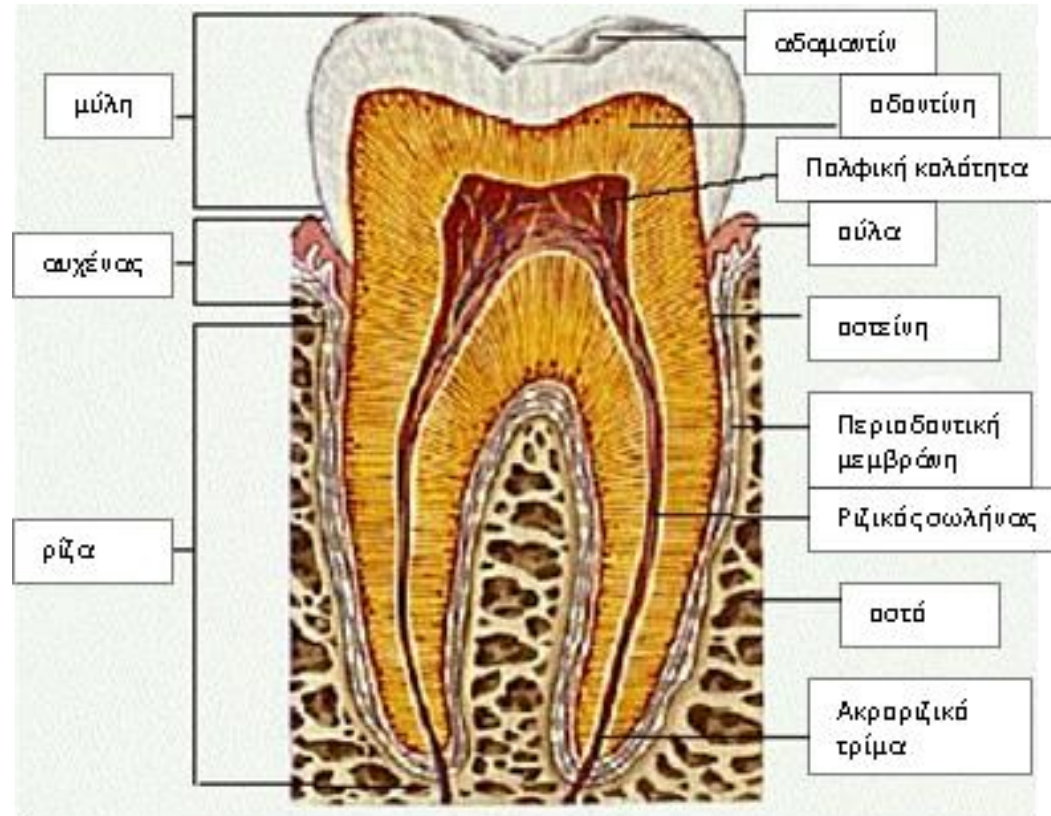
Σπυράτου Ελίνα

*Διδάκτωρ της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και
Φυσικών Επιστημών, Τομέας Φυσικής, Εθνικό Μετσόβιο
Πολυτεχνείο, Αθήνα*



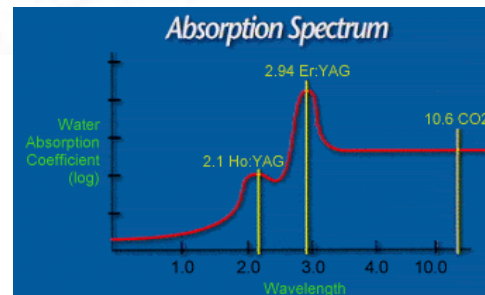
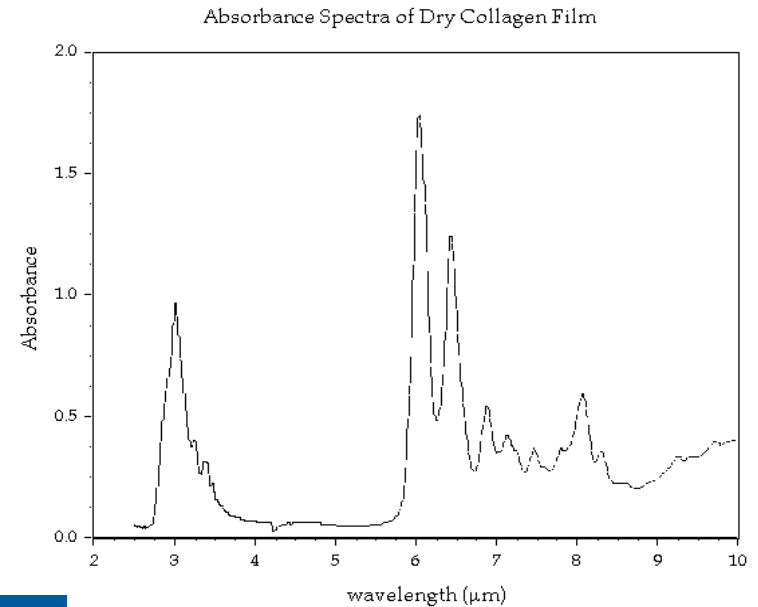
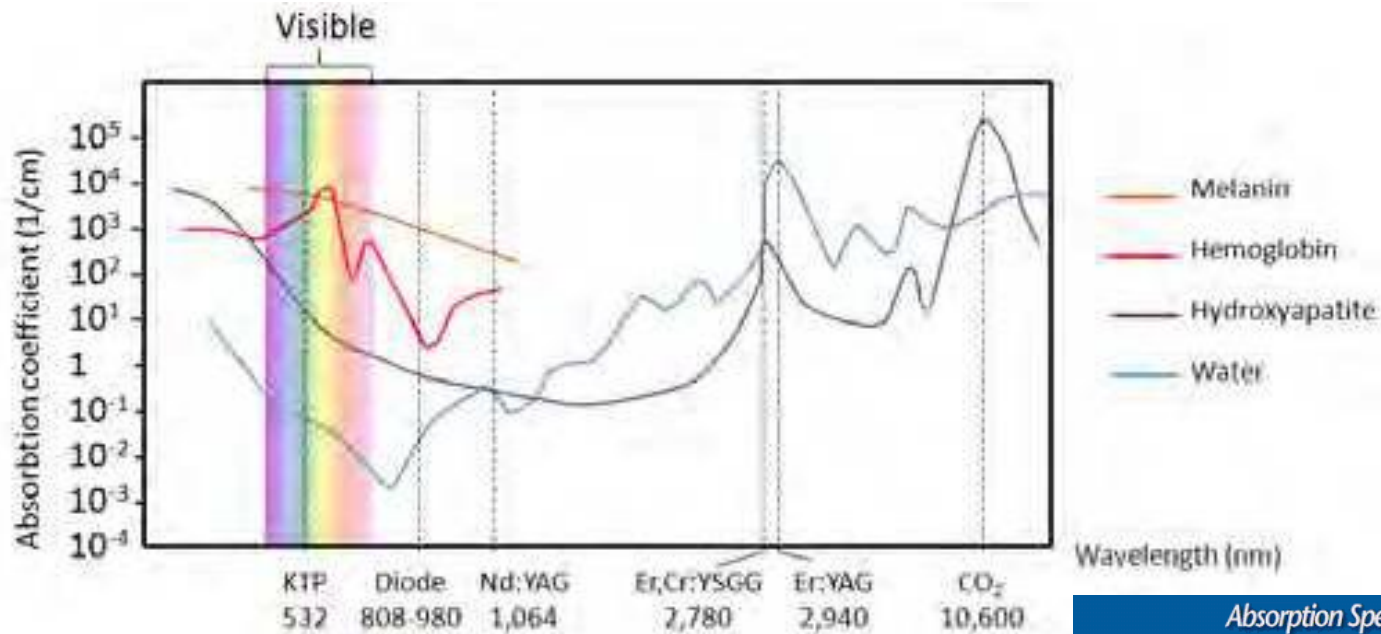
**Προαιρετικό μάθημα «ΑΚΤΙΝΕΣ LASER ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ»
ΑΘΗΝΑ, 2018**

■ Ανατομία του δοντιού

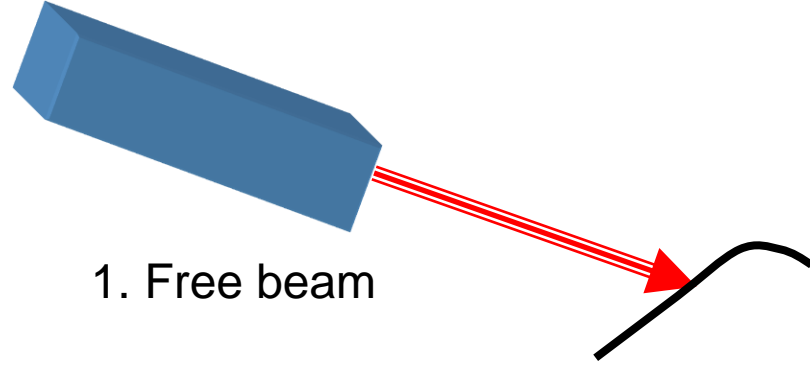


- Η **αδαμαντίνη** είναι ο σκληρότερος ιστός και αποτελείται από 96% ανθρακικό υδροξυαπατίτη, 3% νερό και 1% οργανικά στοιχεία.
- Η **οδοντίνη** αποτελείται 70% από μέταλλα, κυρίως ρίζες φωσφορικού ασβεστίου με τη μορφή του υδροξυαπατίτη $[Ca_{10}(PO_4)(OH)_2]$, 20% από οργανικά στοιχεία κυρίως κολλαγόνο και 10% νερό. Η δομή της αποτελείται από μικροσωληνίσκους οι οποίοι είναι γνωστοί ως οδοντινοσωληνάρια και εκτείνονται κατά μήκος από την περιοχή του ριζικού σωλήνα μέχρι το σημείο επαφής οδοντίνης –αδαμαντίνης.

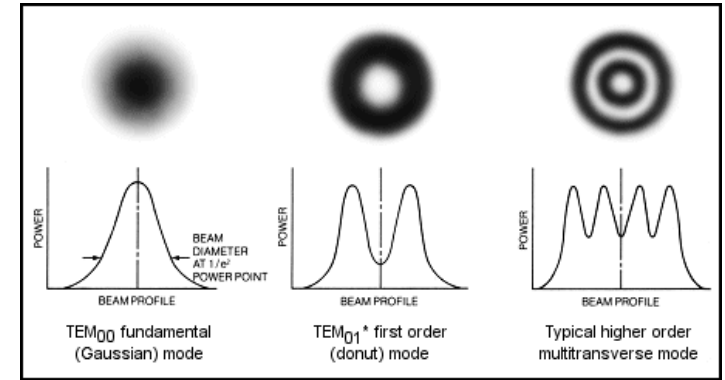
- Ο υδροξυαπατίτης παρουσιάζει κορυφή απορρόφησης στα 2.81 μm , και έντονη απορρόφηση στη περιοχή των 8.9-11.1 μm .
- Το κολλαγόνο που είναι και αυτό βασικό συστατικό του οδοντικού ιστού κυρίως της οδοντίνης παρουσιάζει ως πρωτεΐνη έντονη απορρόφηση στα 3 μm (amide A), στα 3.25 μm (amide B), στα 6.06 μm (amide I), 6.45 μm (amide II) και στα 8.06 μm (amide III).



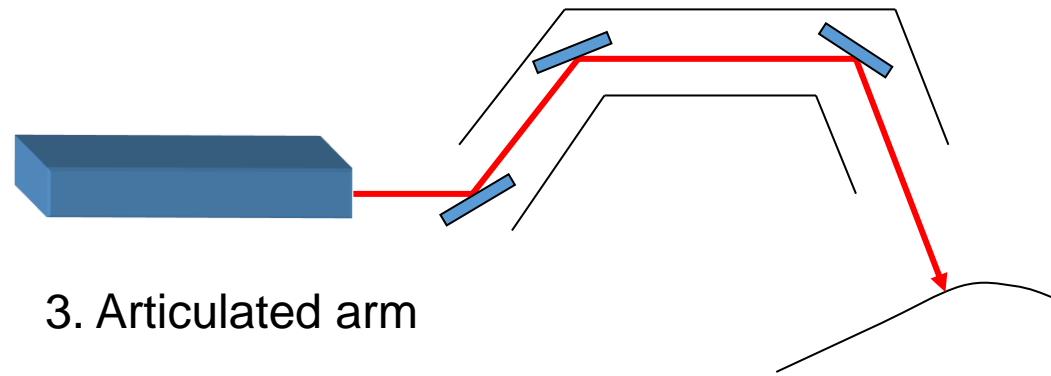
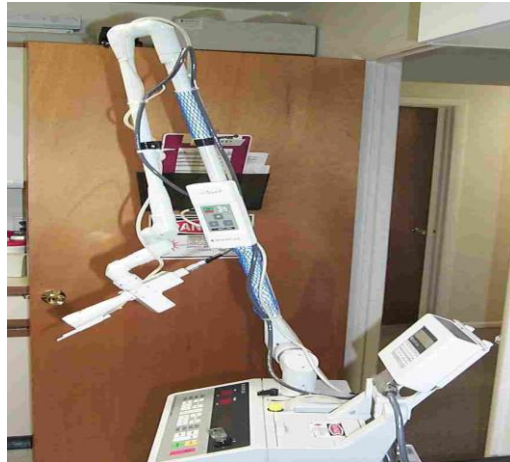
Συστήματα οδήγησης της δέσμης



1. Free beam

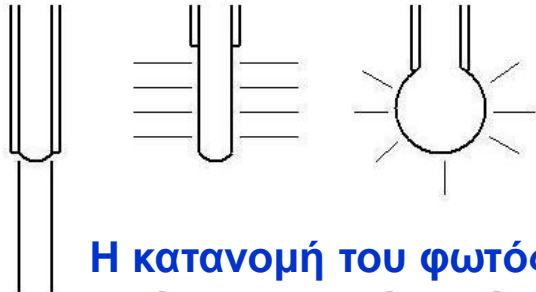


2. Optical fiber

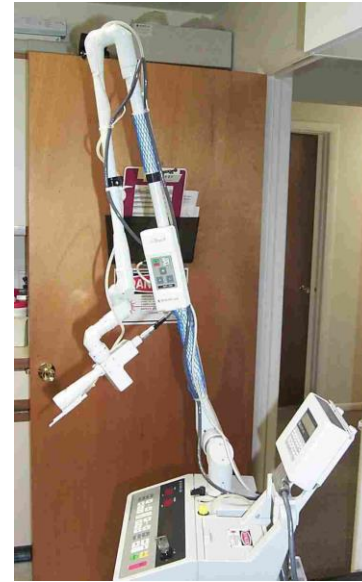


3. Articulated arm

■ Συστήματα μεταφοράς δέσμης

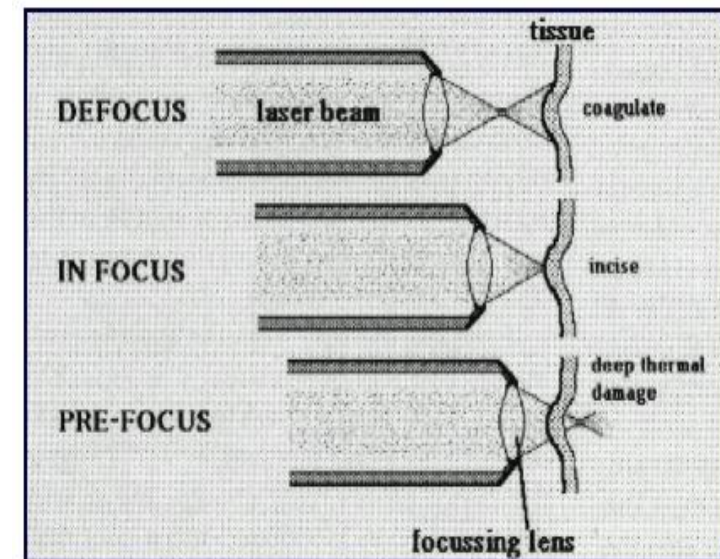
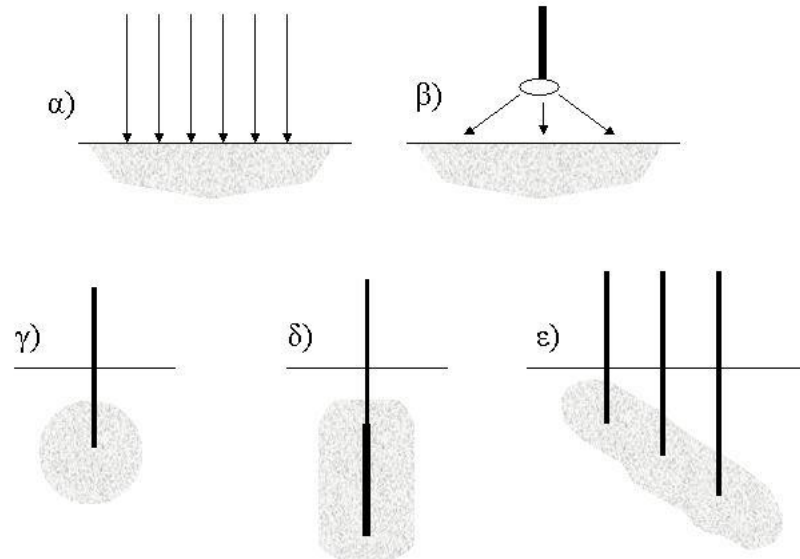


Η κατανομή του φωτός από
ΤΟ ΑΚΡΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ



**Παραδείγματα γεωμετρίας
ακτινοβολίας.**

**α), β) επιφανειακή
ακτινοβολία από ευρεία
δέσμη ή οπτ. ίνα με φακό.
γ) - ε) εσωτερική
ακτινοβολία με διάφορες
οπτικές ίνες**

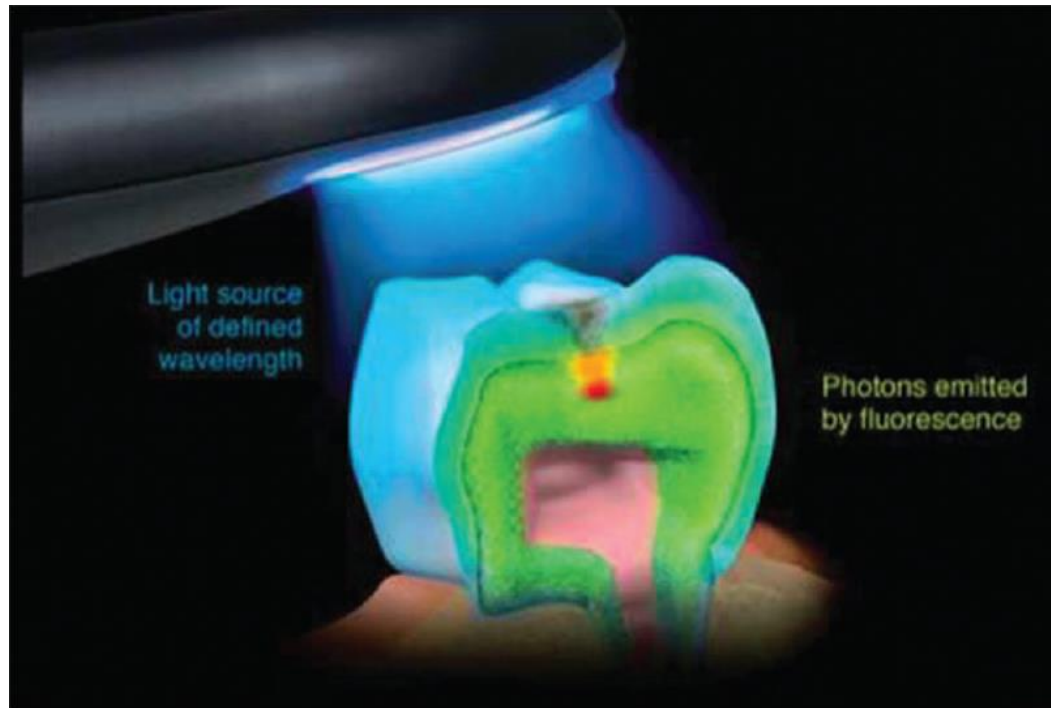


Εφαρμογές των Laser στην οδοντιατρική

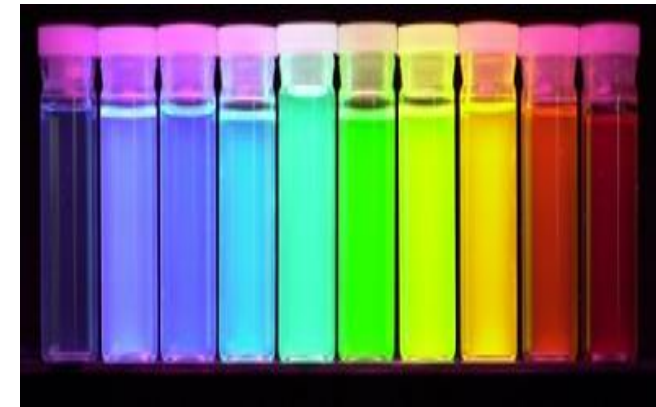
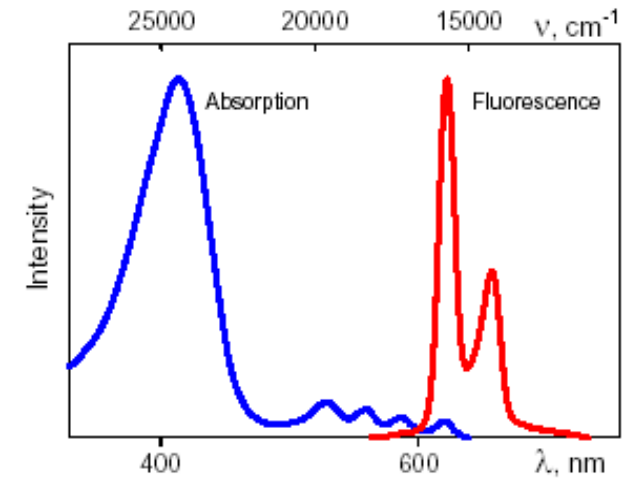
- ❖ Διάγνωση κρυμμένης τερηδόνας: diode laser ($\lambda = 655 \text{ nm}$)
- ❖ Επιλεκτική αφαίρεση τερηδόνας: Er:YAG laser ($\lambda = 2.94 \text{ }\mu\text{m}$)
- ❖ Οδοντική χειρουργική (σφράγισμα): Er:YAG laser ($\lambda = 2.94 \text{ }\mu\text{m}$)
- ❖ Ενδοδοντία:
 - Αποστείρωση ριζικών σωλήνων και περιακρορριζικού χώρου με Nd:YAG Laser, ή διοδικό Laser
 - Κάλυψη-αποστείρωση πολφού με Er:YAG Laser.
 - Πολφτομή με Er:YAG Laser.
 - Θεραπεία συριγγίων με Nd:YAG Laser.
 - Διάνοιξη-παροχέτευση αποστήματος με Nd:YAG Laser ή διοδικό Laser.
 - Θεραπεία κύστεων με Nd:YAG Laser.
 - Ακρορριζεκτομή με Er:YAG Laser.
- ❖ Περιοδοντία:
 - Αποτρύγωση δοντιών (καθαρισμός) με Er:YAG Laser με Feedback System
 - Θεραπεία χρόνιας γενικευμένης ή εντοπισμένης ουλίτιδας με Er:YAG Laser, Nd:YAG Laser, διοδικό Laser, ή KTP Laser.
 - Ουλεκτομή - ουλοπλαστική με Er:YAG Laser, Nd:YAG Laser, διοδικό Laser, ή KTP Laser.
 - Θεραπεία περιοδοντίτιδας με Er:YAG Laser ή/και σε συνδυασμό με Nd:YAG Laser, διοδικό Laser, ή KTP Laser, χωρίς κρημνούς και ράμματα.
 - Χειρουργική θεραπεία περιοδοντίτιδας με Er:YAG Laser και Nd:YAG, ή διοδικό Laser με κρημνό και συρραφή.
 - Θεραπεία περιοδοντικού αποστήματος με Er:YAG Laser, Nd:YAG Laser, ή συνδυασμό και των δύο (ή άλλους τύπους Laser).
 - Low Level Laser Therapy για ώθηση της οστικής ανάπτυξης.

✚ Διάγνωση κρυμμένης τερηδόνας με τη χρήση ανοσοφθορισμού

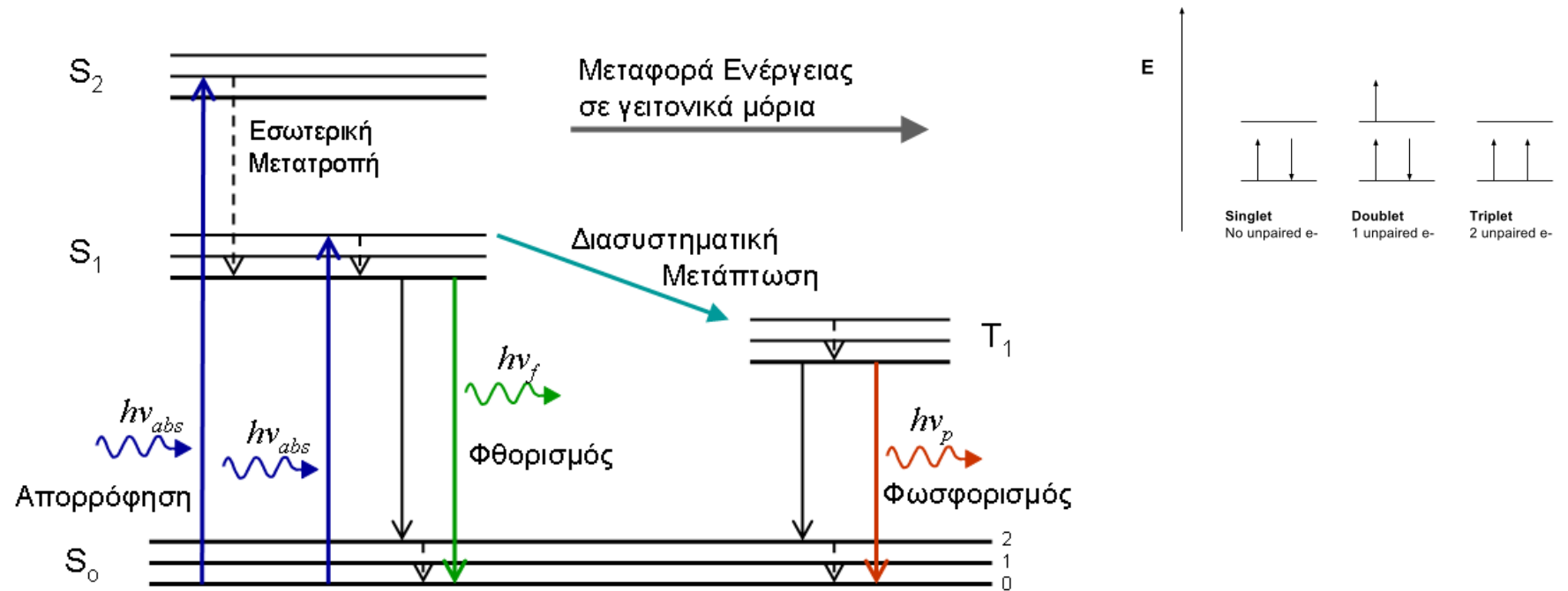
Το φαινόμενο του φθορισμού βρίσκει πολλές βιοϊατρικές εφαρμογές, από την οπτική βιοψία έως τη λειτουργική οπτική απεικόνιση.



Absorption and fluorescence spectra of PpIX



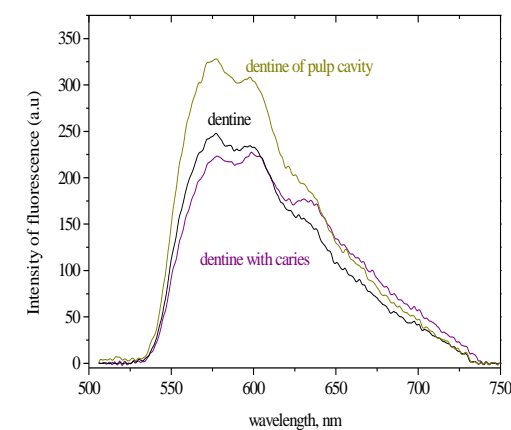
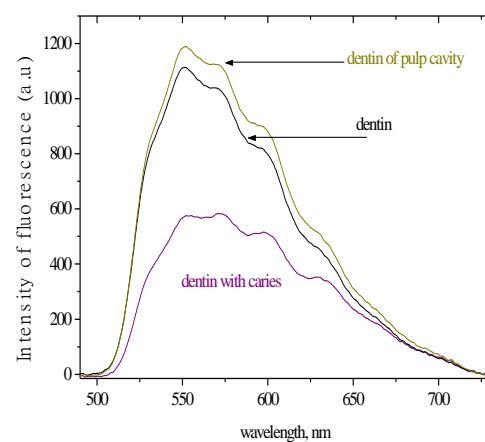
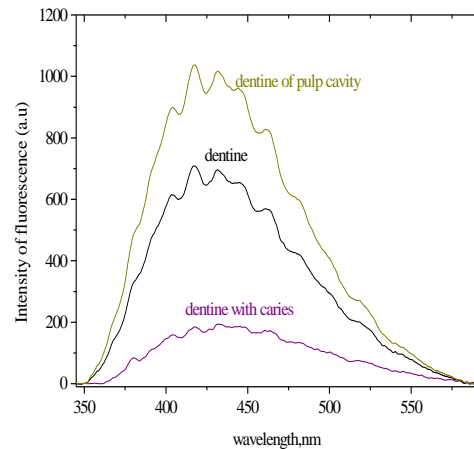
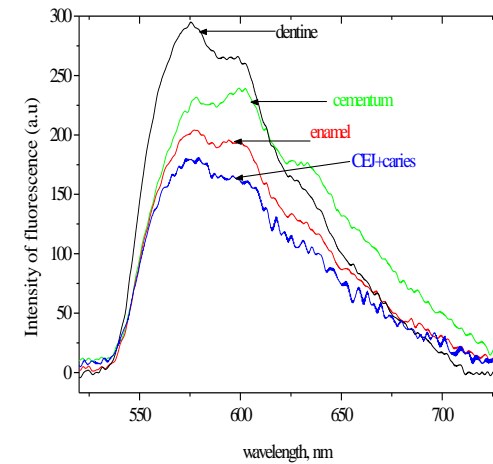
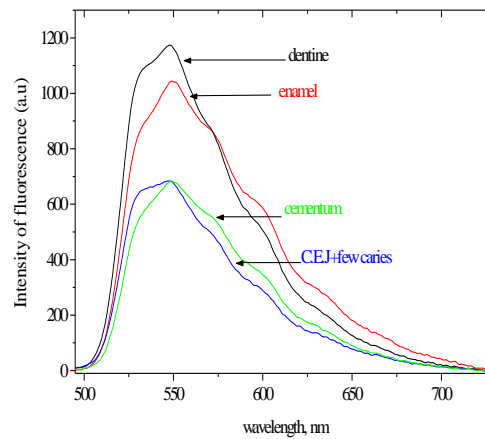
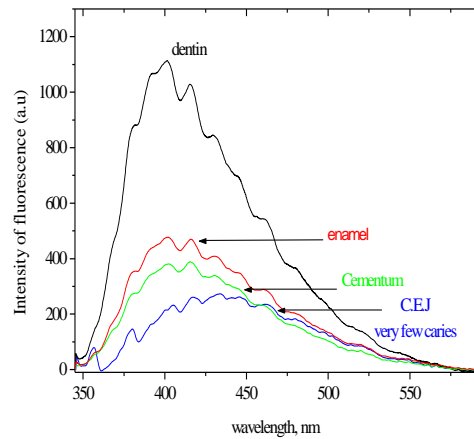
✚ Φασματοσκοπία του laser-επαγόμενου φθορισμού – LIF, Διάγραμμα Jablonski



Η θεμελιώδης ηλεκτρονική ενεργειακή στάθμη του μορίου, καθώς και η πρώτη και η δεύτερη ενεργειακή στάθμη του συμβολίζονται με S_0 , S_1 , S_2 αντίστοιχα. Σε αντίθεση με τα άτομα, στα μόρια κάθε ηλεκτρονική στάθμη χωρίζεται σε πολλές ταλαντωτικές στάθμες, που με τη σειρά τους μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε περιστροφικές στάθμες. Με T_1 συμβολίζεται η τριπλή (triplet) κατάσταση του μορίου, ενώ οι S_0 , S_1 , S_2 είναι μονήρεις (singlet) καταστάσεις.

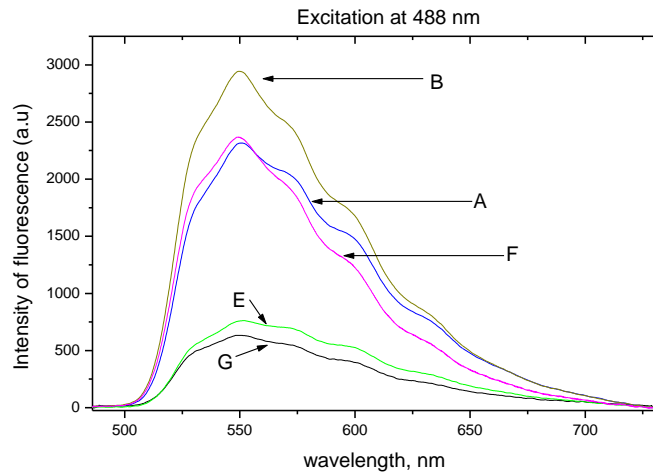
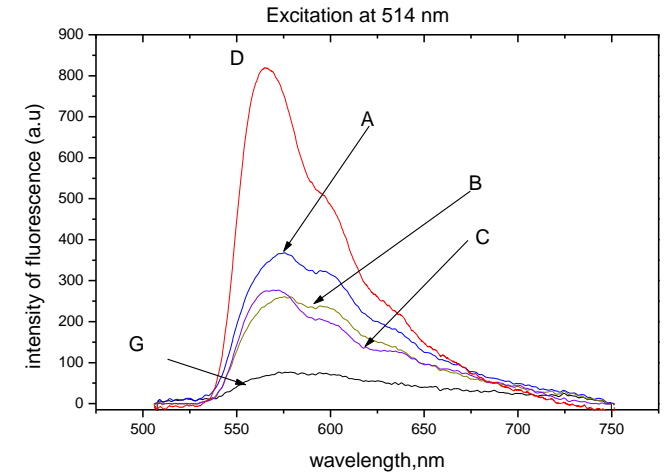
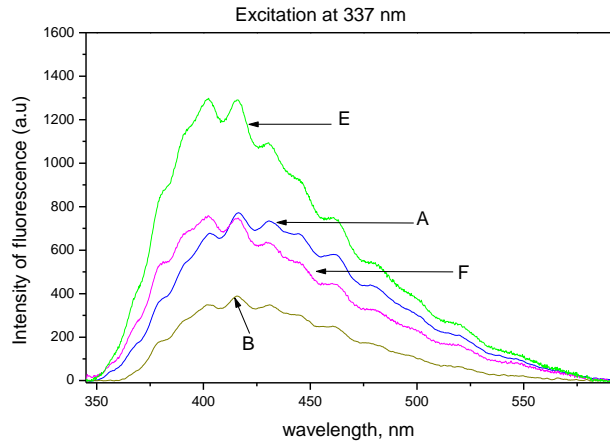
✚ Φασματοσκοπία του laser-επαγόμενου φθορισμού – LIF για διάγνωση της τερηδόνας

- ❖ Φάσματα αυτοφθορισμού οδοντίνης, τα οποία είναι αποτέλεσμα διέγερσης με ακτινοβολία laser τριών διαφορετικών μηκών κύματος (337 nm, 488 nm, και 514 nm).

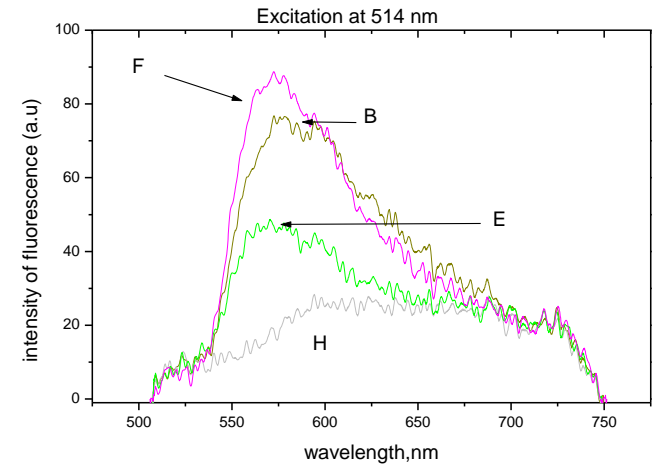




Φασματοσκοπία του Laser-επαγόμενου φθορισμού – LIF για διάγνωση της τερηδόνας



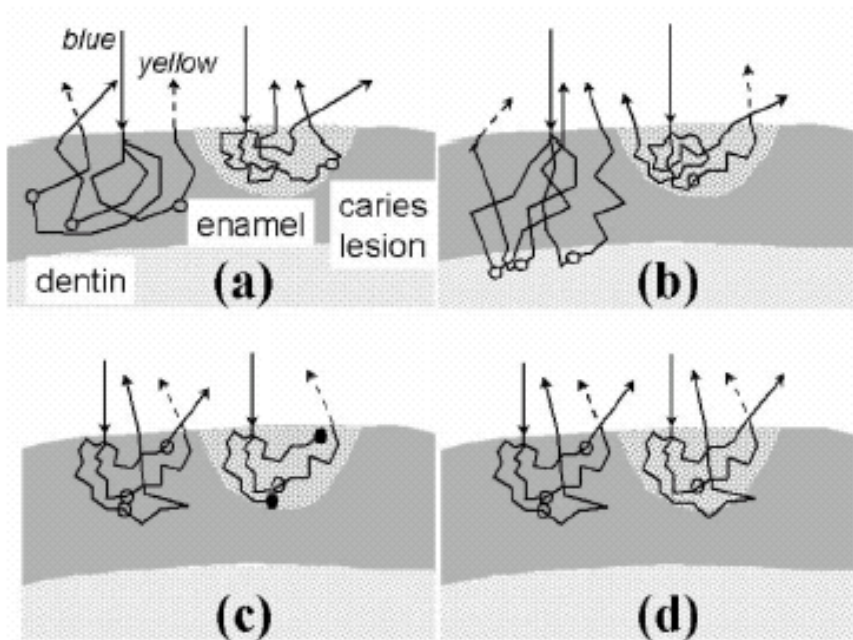
A: Enamel, **B:** Enamel above caries, **C:** caries at C.E.J.,
D: cementum + initial caries,
E: cementum, **F:** cementum root, **G:** enamel, **H:** caries



Φασματοσκοπία του laser-επαγόμενου φθορισμού – LIF για διάγνωση της τερηδόνας

Πιθανοί μηχανισμοί αλληλεπίδρασης της δέσμης laser με τον οδοντικό ιστό

QLF for caries assessment
B. Angmar-Månsson and J.J. ten Bosch



(a) Υψηλότερη σκέδαση στην περιοχή αλλοίωσης του οδοντικού ιστού σε σύγκριση με την ακέραια αδαμαντίνη. Η διαδρομή του φωτός είναι μικρότερη μέσα στον οδοντικό ιστό και συνεπώς η απορρόφηση και ο φθορισμός είναι μικρότερος.

(b) Ο φθορισμός παράγεται κυρίως από την οδοντίνη που υποστηρίζει την αδαμαντίνη.

(c) Τα χρωμοφόρα μόρια της αλλοίωσης δεν φθορίζουν σε αντίθεση με αυτά της αδαμαντίνης.

(d) Η τερηδόνα έχει απομακρύνει τα χρωμοφόρα μόρια που παράγουν φθορισμό.

solid lines=blue excitation light,

broken lines=yellow fluorescence

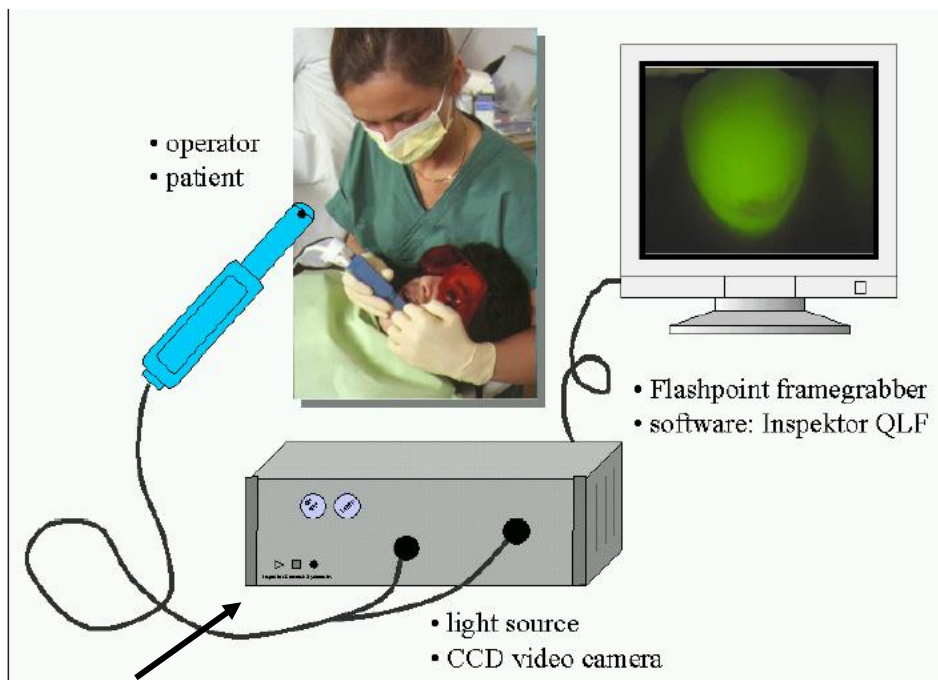
Empty circles= fluorescing chromophores

Full circles=absorbing non-fluorescing chromophores

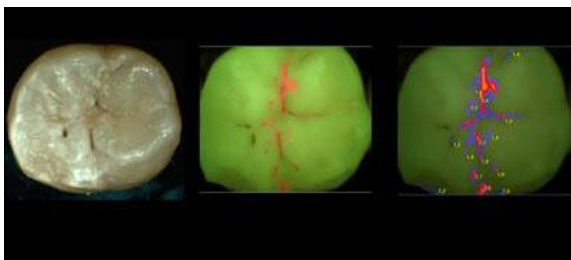
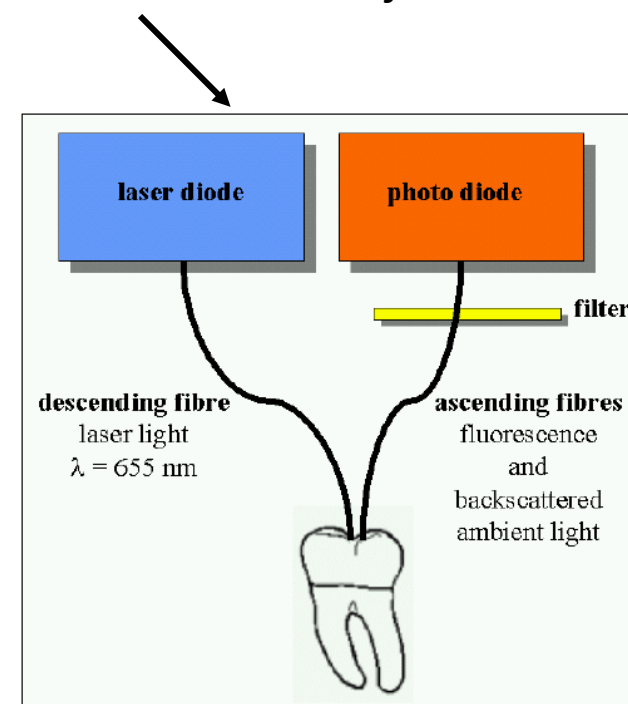
“Clinical application of QLF and DIAGNOdent — two new methods for quantification of dental caries”

Sofia Tranæus, Thesis 2002

Quantitative Light-induced Fluorescence

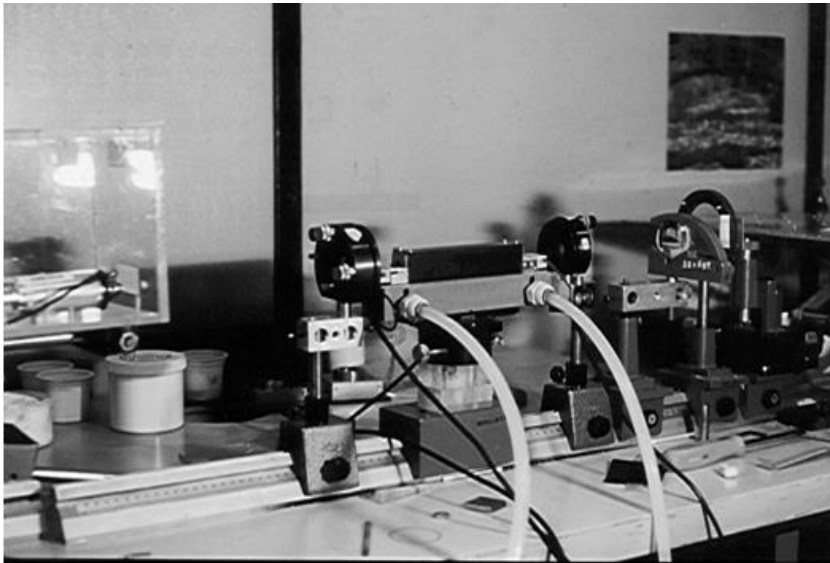


Detection and quantification of dental caries on smooth and occlusal surfaces

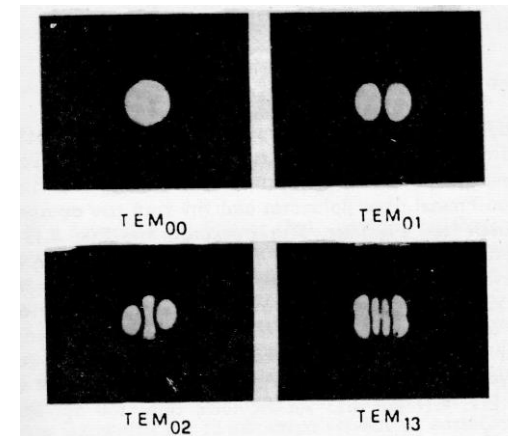
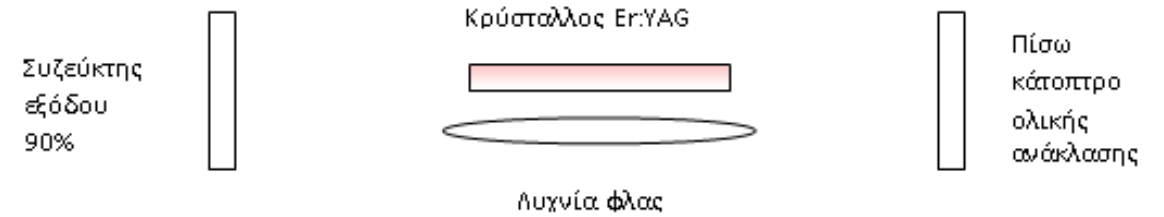


Τα lasers στην επεμβατική Οδοντιατρική

❖ Er:YAG laser



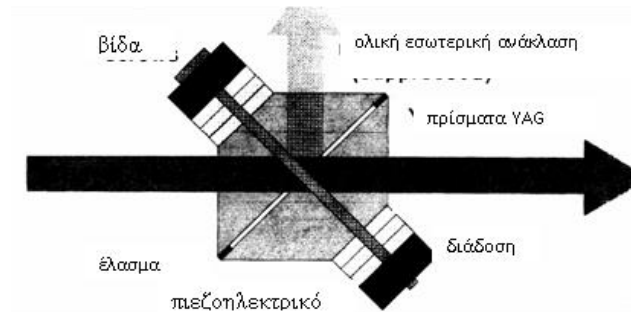
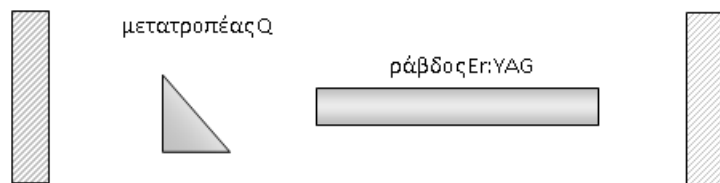
Σχεδιάγραμμα της κεφαλής του laser



Λειτουργία Er:YAG laser Q switching

συζεύκτης εξόδου 80% ανακλαστικός

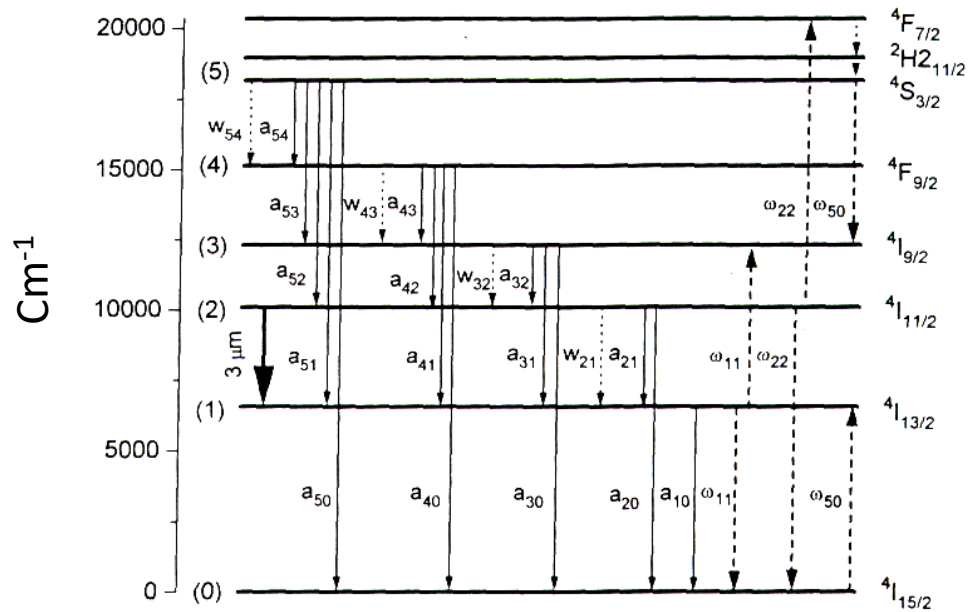
πίσω κάτοπτρο ολικά ανακλαστικό



❖ Er:YAG laser

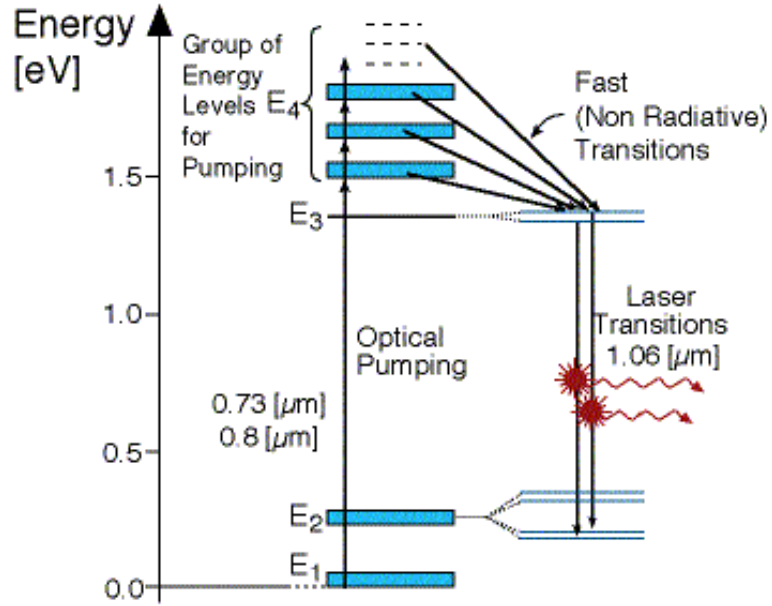
- Er:YAG laser είναι ένα laser στερεάς κατάστασης που εκπέμπει στα 2.940 μm .
- Το ενεργό υλικό του laser αποτελεί ένας κρύσταλλος YAG με προσμίξεις Er^{+3} σε ποσοστό 50%.
- Το υψηλό ποσοστό των προσμίξεων είναι απαραίτητο για την υψηλή απόδοση της άντλησης και συνεπώς την ικανοποιητική απόδοση του laser.
- Η εκπομπή στο μήκος κύματος των 2,94 μm είναι αποτέλεσμα της μετάπτωσης των ιόντων Er^{+3} μεταξύ των ενεργειακών καταστάσεων $^4I_{11/2}$ και $^4I_{13/2}$.

Ενεργειακό διάγραμμα των μεταβάσεων του Er^{+3} σε YAG



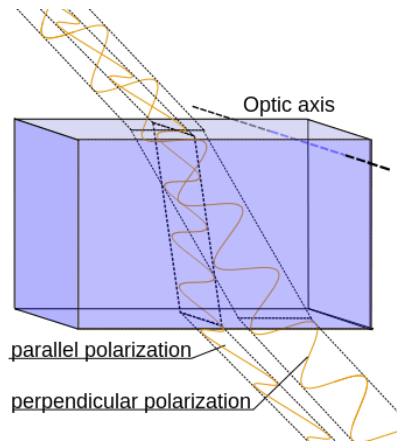
Σχήμα ενεργειακών επιπέδων του Er^{3+} σε YAG και οι διεργασίες ακτινοβολητικών (συμπαγείς γραμμές), και ενεργειακών μεταβάσεων από και προς τα επίπεδα laser (διακεκομμένες γραμμές)

❖ Nd:YAG laser

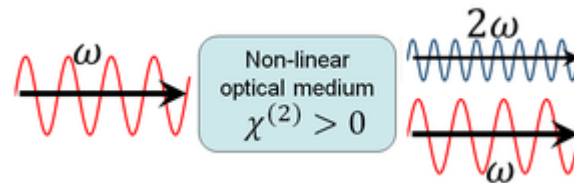


- Το laser Nd:YAG είναι ένα laser στερεάς κατάστασης.
- Το ενεργό μέσο του υλικού είναι συνήθως ένας κρύσταλλος $Y_3Al_5O_{12}$ (Yttrium Aluminum Garnet, YAG) στον οποίο μερικά από τα ιόντα Y^{3+} έχουν αποκατασταθεί από Nd^{3+} .
- Η πιο ισχυρή γραμμή εκπομπής είναι στα $\lambda=1,064 \mu m$ αποτέλεσμα της μετάπτωσης των ιόντων Nd^{3+} μεταξύ των ενεργειακών καταστάσεων $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$.
- Οι δύο κύριες ζώνες άντλησης παρουσιάζονται στα 0,73 και 0,8 μm. Αυτές οι ζώνες είναι συζευγμένες με μία γρήγορη μη ακτινοβολητική αποδιέγερση με το $^4F_{3/2}$ επίπεδο, ενώ το χαμηλότερο επίπεδο $^4I_{11/2}$ με μία γρήγορη μη ακτινοβολητική διαδικασία με το $^4I_{9/2}$ βασικό επίπεδο.
- Το laser Nd:YAG δουλεύει σαν ένα σύστημα τεσσάρων επιπέδων, το οποίο μπορεί να λειτουργεί συνεχώς και παλμικά. Η αντιστροφή πληθυσμών επιτυγχάνεται μέσω οπτικής άντλησης.

❖ Nd:YAG laser

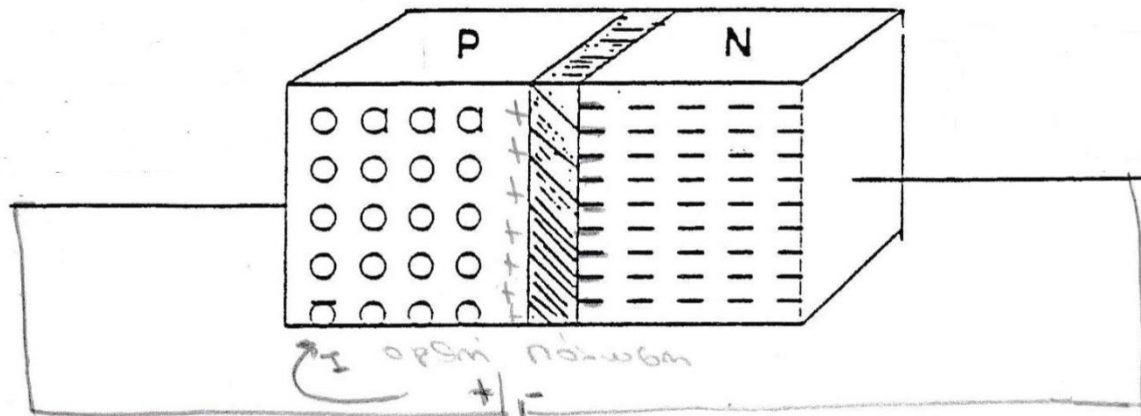


- Το Nd:YAG laser μπορεί να λειτουργήσει με μετατροπή Q (Q switching) και με τη μέθοδο εγκλειδομένων ρυθμών (mode locking).
- $P \sim \text{MW, GW}$ και $t_p \sim \text{ns ή/και ps}$.
- Πρώτη αρμονική του Nd:YAG laser $\lambda_1 = 1,064 \mu\text{m}$.
- Δεύτερης αρμονικής με μήκος κύματος εκπομπής $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$ ($\lambda_2 = \lambda_1/2$, $\omega_2 = 2\omega_1$) επιτυγχάνεται με τη χρήση ηλεκτροοπτικών κρυστάλλων και στηρίζεται στο φαινόμενο της διπλοθλαστικότητας.
- Ενεργά υλικά κρυστάλλων: το φωσφορικό δι-υδρογονούχο κάλλιο (KDP), το φωσφορικό δι-δευτεριούχο κάλλιο (KD*P), το φωσφορικό δι-υδρογονούχο αμμώνιο (ADP) κ.α.



KTP laser

❖ **Διοδικά laser:** Τύπος ημιαγωγού LASER το οποίο αποτελείται από ένα ημιαγωγό υλικό τύπου P και ένα τύπου N ενωμένα μαζί.



- Περιοχή διεπαφής τύπου PN που συνυπάρχουν ηλεκτρόνια και οπές
- Αντιστροφή πληθυσμού μέσω της εφαρμογής ορθής πόλωσης
- Τάση e^- να κινηθούν από υψηλό σε χαμηλό δυναμικό
- Σύνδεση ενός e^- από τη ζώνη αγωγιμότητας με μία οπή P από τη ζώνη σθένους → Εκπομπή ακτινοβολίας laser
- Λειτουργία LED όταν δεν επιτευχθεί αντιστροφή πληθυσμού

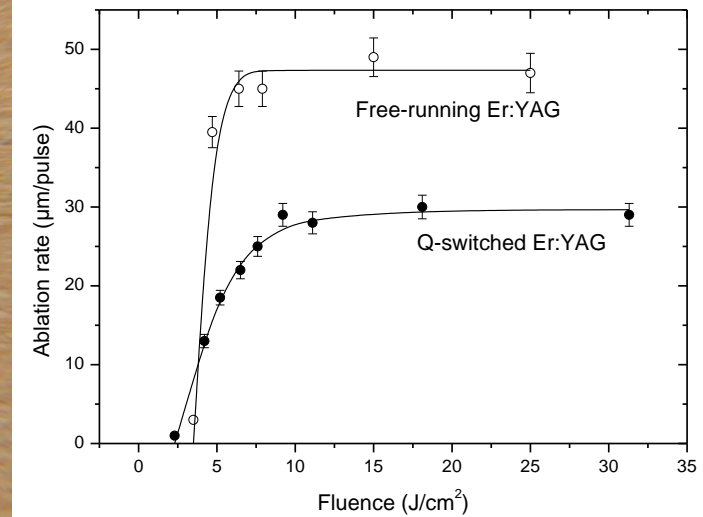
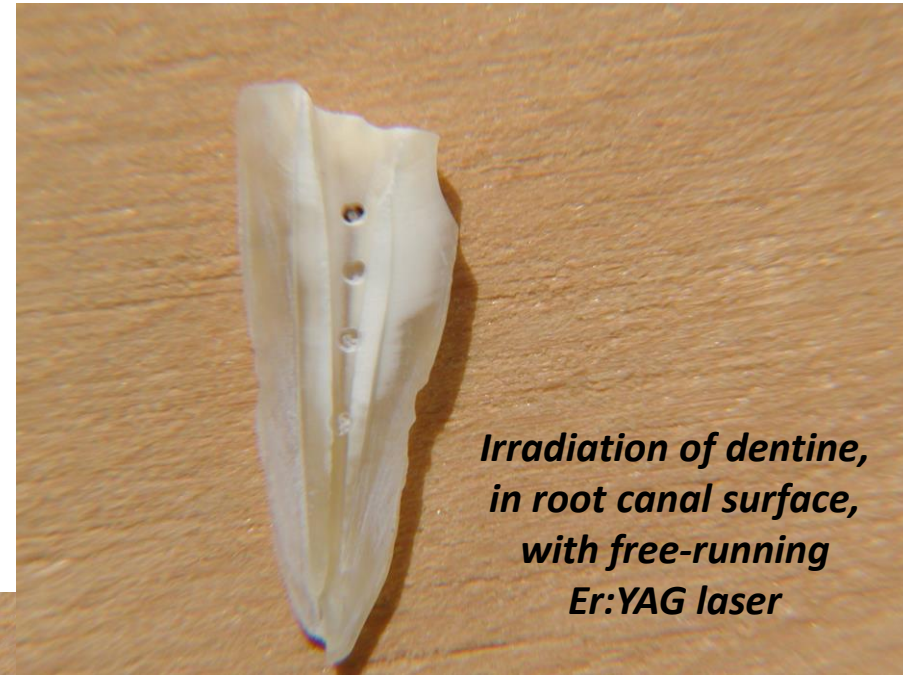
Τα lasers στην Ενδοδοντία

✚ Φωτοαποδόμηση σκληρών ιστών – ένα παράδειγμα



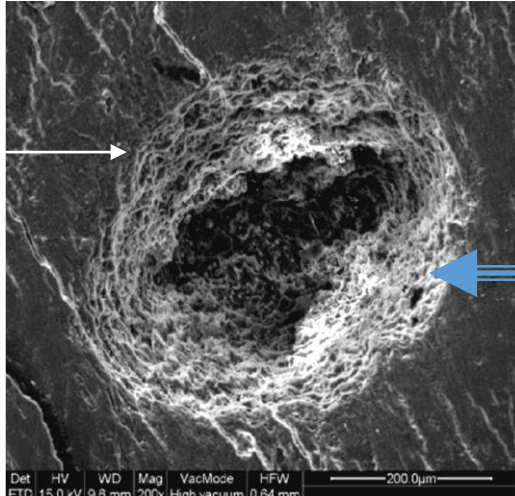
*Irradiation of dentine
with Q-switched Er:YAG
laser.*

 **Φωτοαποδόμηση
σκληρών ιστών – ένα
παράδειγμα**

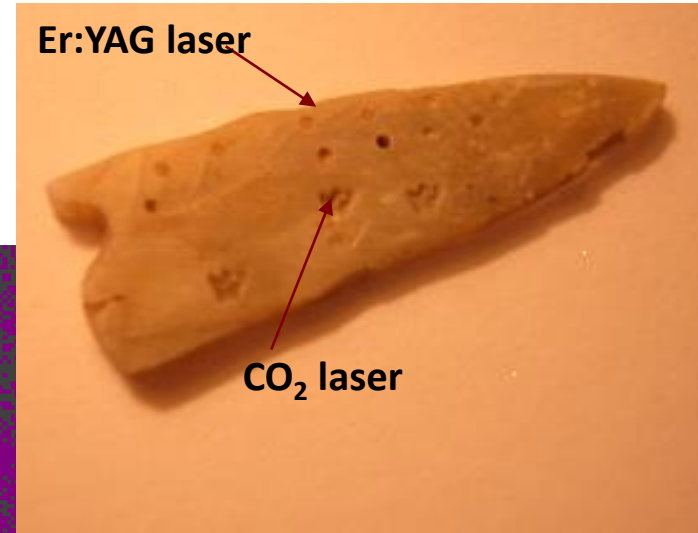
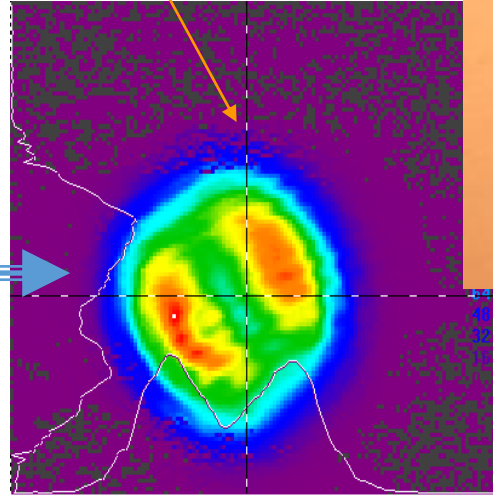


Hard tissue laser ablation

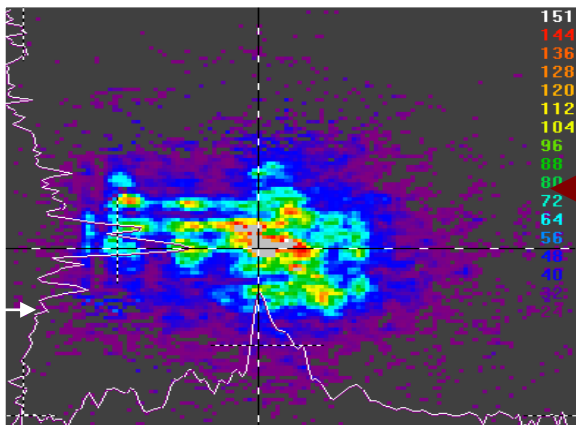
SEM image (Er:YAG laser:
1HZ, 60mJ, 5 pulses)



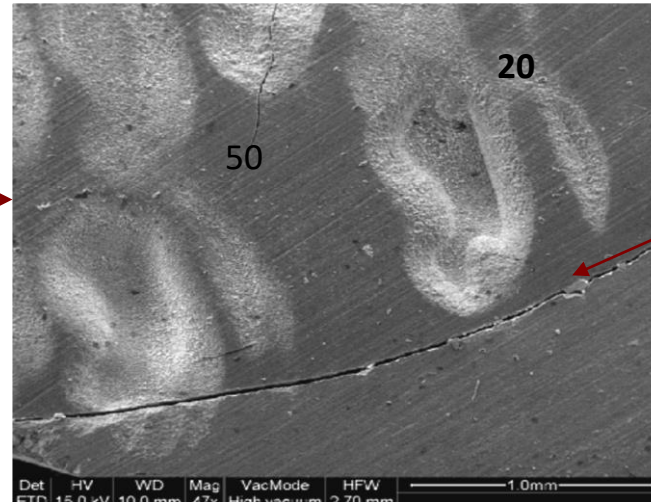
Beam profile of the
Er:YAG laser (1HZ,
60mJ)



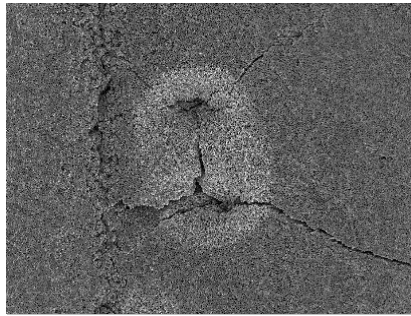
Laser CO₂ : 1 HZ, 56 mJ,
50, 20 pulses



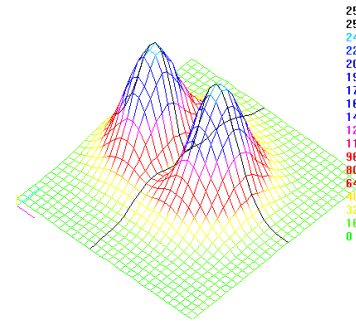
Beam profile of the CO₂ laser (1HZ,
56mJ)



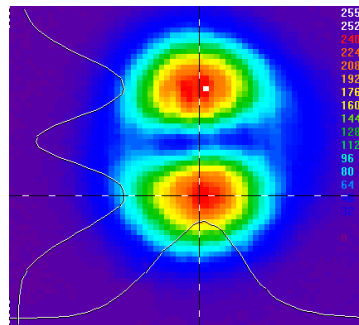
Φωτοαποδόμηση σκληρών ιστών – ένα παράδειγμα



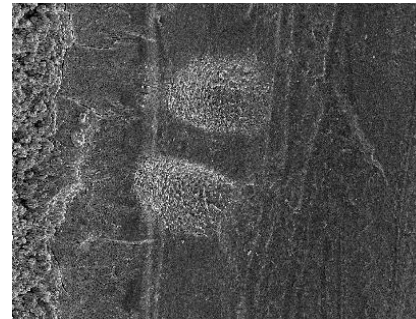
Root dentin surface alteration by Q-switched Er:YAG laser ablation



3D beam profile at the output of the Q-switched Er:YAG laser.



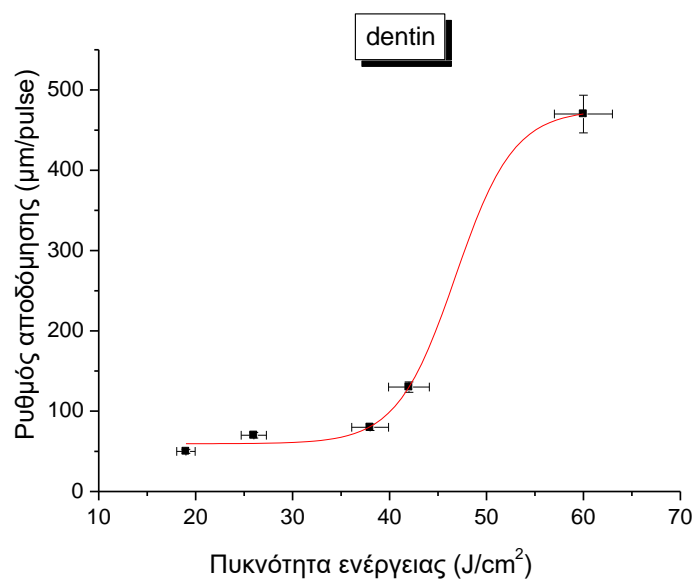
2D beam profile at the output of the Q-switched Er:YAG laser.



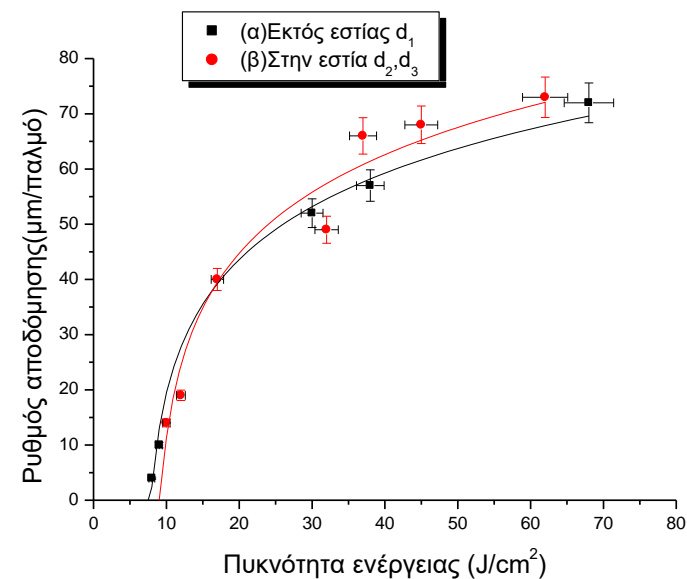
Root dentin surface alteration by Q-switched Er:YAG laser ablation

✚ Αποδόμηση σκληρών οδοντικών ιστών – ποσοτικές μετρήσεις

Εξάρτηση του ρυθμού αποδόμησης της οδοντίνης από την πυκνότητα ενέργειας για το Laser Er:YAG σε λειτουργία free laser.



Καμπύλη του ρυθμού αποδόμησης για μετρήσεις στην εστία και εκτός εστίας της δέσμης σε ενυδατωμένο οδοντικό ιστό στην περιοχή της οδοντίνης.

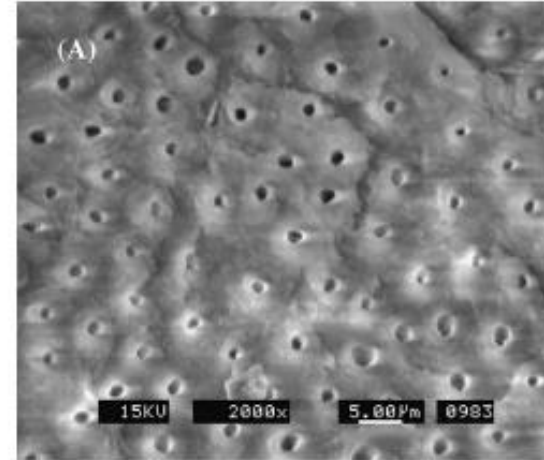


**«Compositional and morphological changes of human dentin after
Er:YAG laser irradiation»**

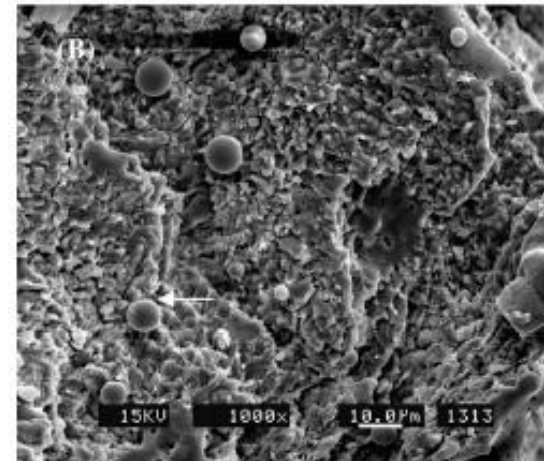
Bor-Shiunn Lee, Yu-Lin Hung, Wan-Hong Lan*

International Congress Series 1248 (2003) 143– 152

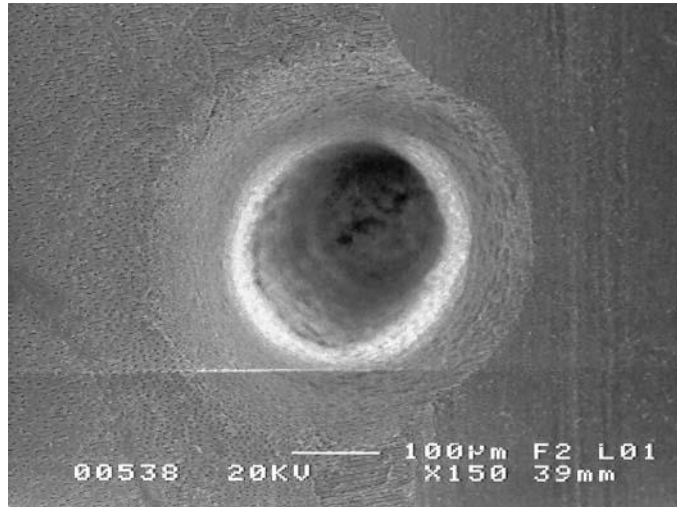
(A) Photomicrograph of the dentin surface after Er:YAG laser irradiation of 500 mJ/pulse-10 ps-10 s with water cooling. The group with water spray showed clean ablated surface and exposed dentinal tubules.



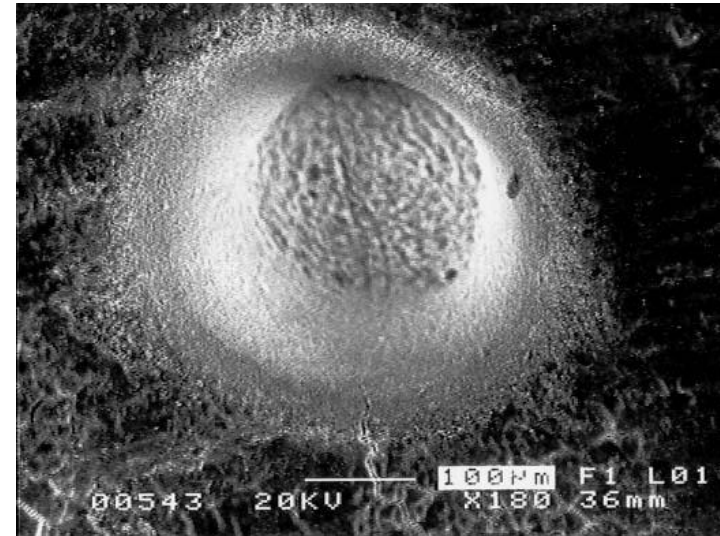
(B) Without water cooling. In the group without water spray, it showed many melted globules.



✚ Μορφολογία αποδόμησης σκληρών οδοντικών ιστών



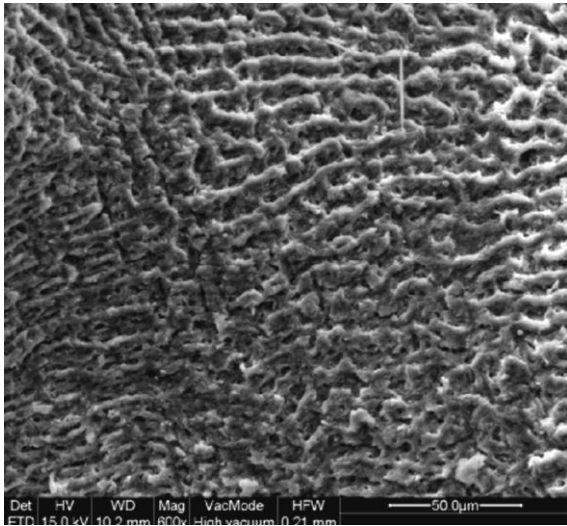
SEM image of free-running Er:YAG laser ablation crater on root dentine surface for $t_p=80 \mu s$, $E=70 \text{ mJ/pulse}$, 40 pulses, pulse repetition rate frequency $f=1 \text{ Hz}$.



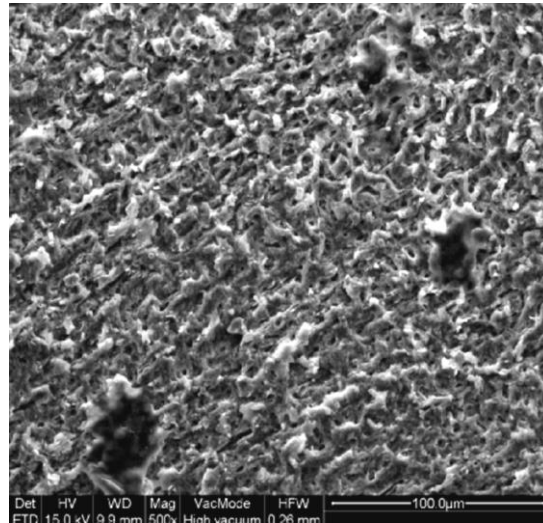
SEM image of Q-switched Er:YAG laser ablation crater on root dentine surface ($t_p=190 \text{ ns}$, $E=25 \text{ mJ/pulse}$, 50 pulses, $f=1 \text{ Hz}$).

✚ Μορφολογία αποδόμησης – ένα παράδειγμα

Εικόνα SEM από το εσωτερικό των κρατήρων αποδόμησης εσωτερικό των κρατήρων αποδόμησης για 10, 20 παλμούς αντίστοιχα, με τη χρήση του laser CO₂ στα 1HZ και 56 mJ.



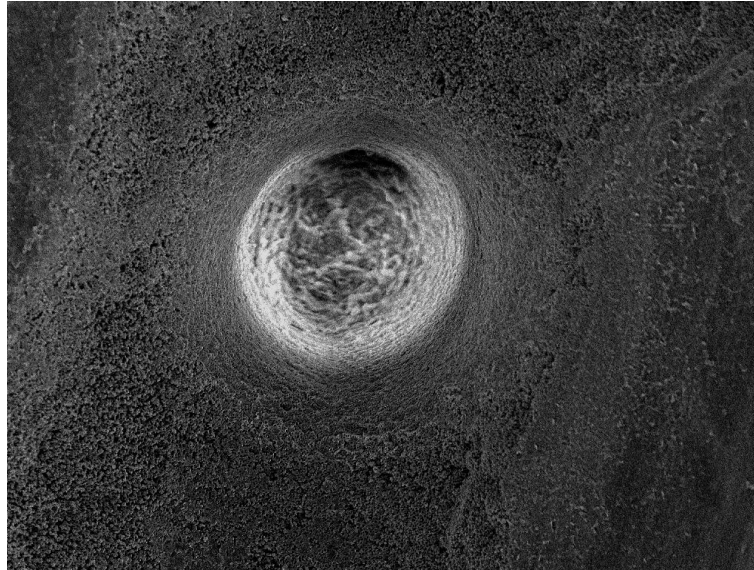
Μεγένθυση του κρατήρα αποδόμησης των 10 παλμών με τη χρήση του laser CO₂ στα 1HZ και 56 mJ (X 500).



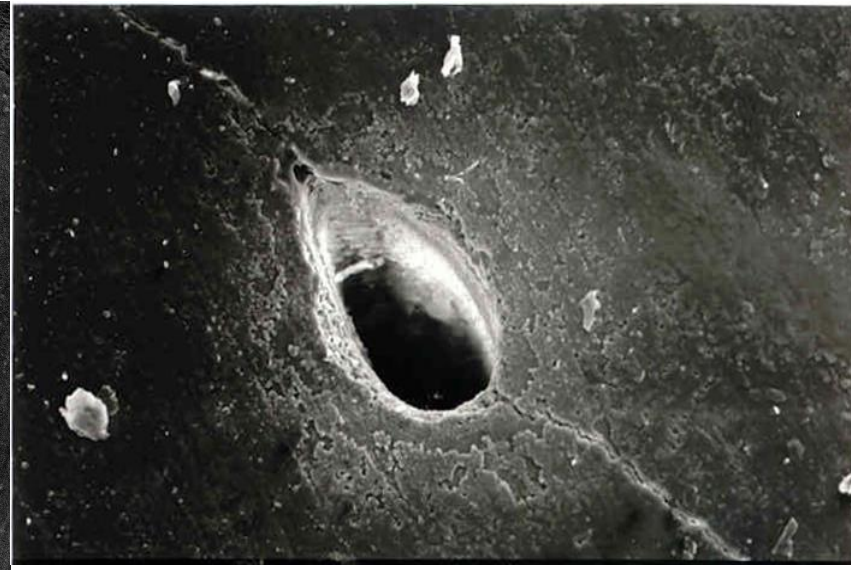
Μεγένθυση του κρατήρα αποδόμησης των 20 παλμών με τη χρήση του laser CO₂ στα 1HZ και 56 mJ (X 600)

- Παρατηρείται έντονη ρυτίδωση.
- Η επιφάνεια της οδοντίνης είναι αρκετά τραχεία.
- Κάποιοι οδοντικοί σωλήνες παραμένουν ανοικτοί ενώ κάποιοι έχουν επικαλυφθεί από οδοντικό επίχρισμα (ρινίσματα οδοντίνης, υπολείμματα πορφού, μικροοργανισμούς, πρωτεΐνες κ.α).
- Ρωγμές (cracks) γύρω από τους κρατήρες δεν παρατηρήθηκαν.

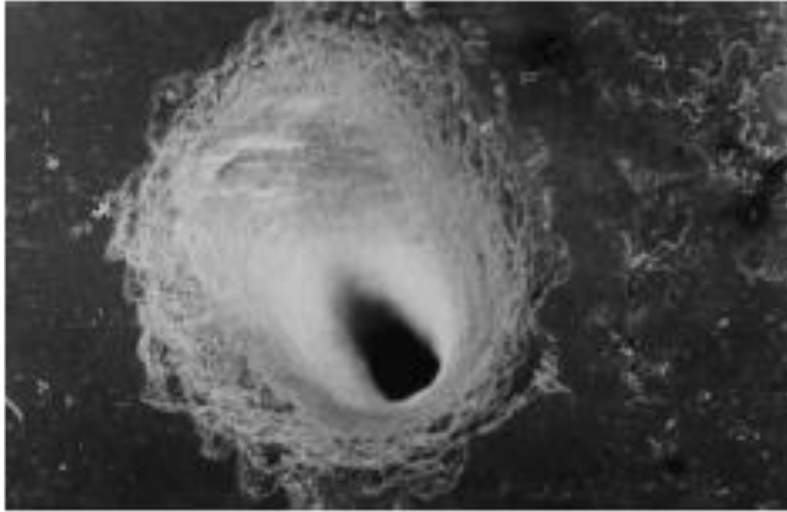
✚ Μορφολογία αποδόμησης σκληρών οδοντικών ιστών



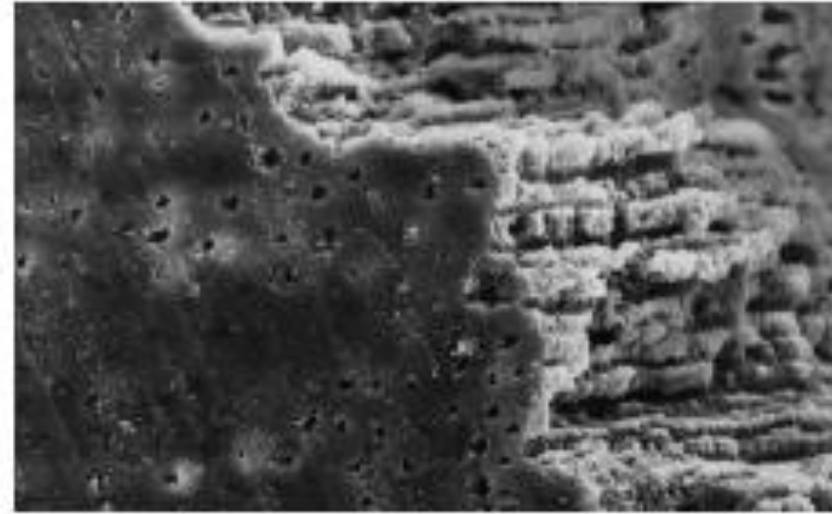
SEM image of a free-running Er:YAG laser ablation crater on root dentine surface: $\lambda=2.94 \mu\text{m}$, $t_p=80 \mu\text{s}$, $E=70 \text{ mJ/pulse}$, repetition rate=1 Hz, 20 pulses.



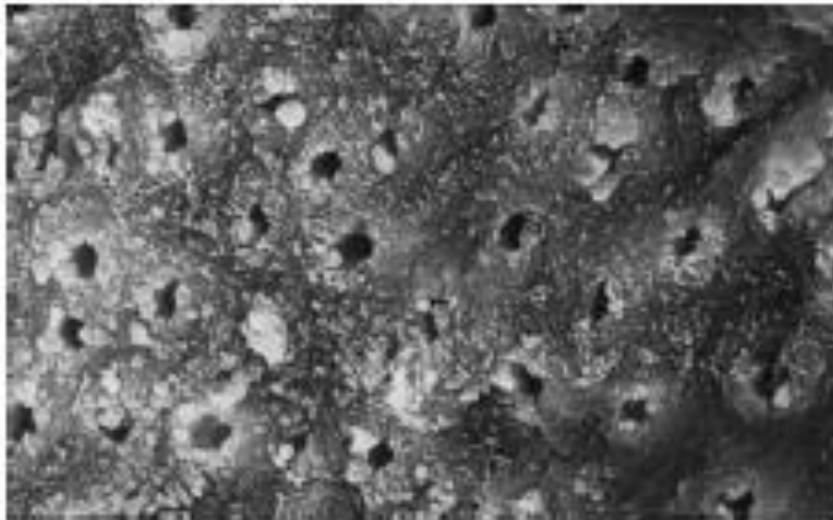
SEM image of a crater with crack formation at the edges (Nd:YAG laser, $\lambda=1064 \text{ nm}$, $t_p=100 \text{ ps}$, $E=2.98 \text{ mJ/pulse}$, repetition rate=10 Hz, 1650 pulses).



View of a conical-shaped crater with irregular edges (Nd:YAG laser, $\lambda=1064$ nm, 22 kV, $\times 120$).



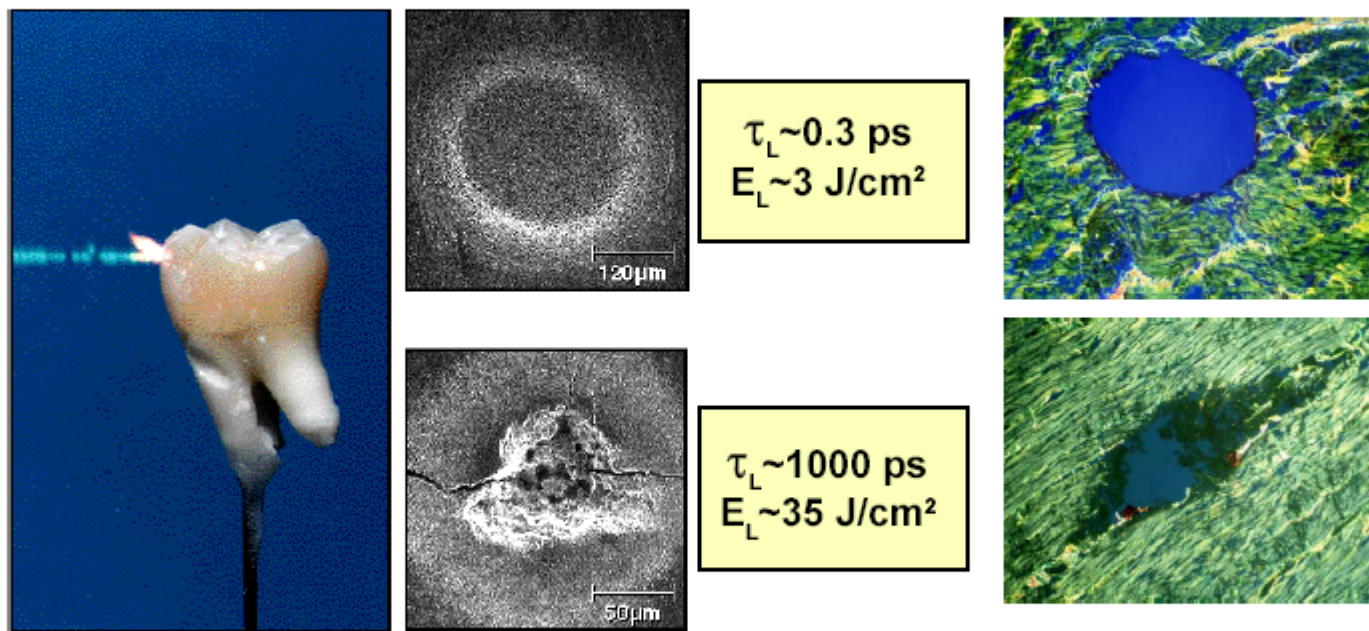
A detail from the sample shown in the left figure (Nd:YAG laser, $\lambda=1064$ nm, 22 kV, $\times 1000$).



Small-grained dentine in the border of the crater with some dentine chips. (Nd:YAG laser, $\lambda=1064$ nm, 22kV, $\times 3000$).

From: "Picosecond Laser Ablation of Dentine in Endodontics", A.A. Serafetinides, M.G. Khabbaz, M.I. Makropoulou and A.K. Kar, *Lasers Med Sci* 1999, 14:168–174

Plasma-mediated ablation using ultrashort laser pulses promises minimal collateral damage



■ Ultrashort pulse lasers minimize collateral damage making them valuable for microsurgery

**Ευχαριστώ για την
προσοχή σας**