

# Φωτοακουστική απεικόνιση των οπτικών χαρακτηριστικών φακών επαφής

Σωτήρης Πλαϊνής<sup>1</sup>,  
Γιώργος Τσερεβελάκης<sup>2</sup>,  
Μαργαρίτα Τσαγκαράκη<sup>2</sup>,  
Μιλτιάδης Τσιλιμπάρης<sup>1</sup>,  
Γιάννης Ζαχαράκης<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Εργαστήριο Οπτικής και Όρασης, Ιατρική Σχολή, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.

<sup>2</sup> Εργαστήριο in-vivo απεικόνισης, Ινστιτούτο Ηλεκτρονικής Δομής και Λέιζερ, ΙΤΕ, Ηράκλειο Κρήτης.

Η καθημερινή χρήση Φακών Επαφής (Φ.Ε.) από εκατομμύρια χρήστες απαιτεί την κατασκευή ενός τεράστιου αριθμού Φ.Ε. ετησίως. Επομένως, είναι αναγκαίο να υπάρχουν τεχνικές ποσοτικής αλλά και ποιοτικής αξιολόγησής τους. Για τη σωστή και ολοκληρωμένη εκτίμηση των Φ.Ε. σε βιομηχανική κλίμακα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη ορισμένες παράμετροι, όπως οι οπτικές/γεωμετρικές ιδιότητες (καμπυλότητες, ισχύς, ασφαιρικότητα), η ελαστικότητα και ευκαμψία του υλικού που σχετίζεται με την εφαρμογή του Φ.Ε. στην πιο καμπυλωτή επιφάνεια του κερατοειδούς, τα υλικά κατασκευής (δείκτης διάθλασης), η διαπερατότητα στο οξυγόνο κτλ.

Η τεχνική αξιολόγησης, πέρα από ακρίβεια, ορθότητα και επαναληψιμότητα, είναι σημαντικό να διαθέτει ευκολία και ταχύτητα εφαρμογής, καθώς και σχετικά μικρό κόστος.

Δεν είναι ασυνήθιστο ορισμένοι παράμετροι των φακών στις ετικέτες (όπως η ισχύς και η καμπυλότητα της οπίσθιας επιφάνειας) να διαφέρουν από εκείνες του φακού, είτε λόγω εσφαλμένης σήμανσης, είτε λόγω περιορισμένης ακρίβειας κατασκευής, είτε λόγω μεταβολής των παραμέτρων κατά τη συσκευασία, το άνοιγμα ή φθορά κατά τη χρήση. Στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες προσεγγίσεις για τη μέτρηση του προφίλ ισχύος των φακών<sup>(1)</sup>, συμπεριλαμβανομένων φακόμετρων με μικρό άνοιγμα ανοίγματος και οργάνων που βασίζονται στις μεθοδολογίες Moiré reflectometry, interferometry<sup>(3)</sup>, Schlieren<sup>(4)</sup>, Hartmann-Shack<sup>(5)</sup> και Optical Coherence Tomography<sup>(6)</sup>.

Με τις περισσότερες από αυτές τις τεχνικές οι μαλακοί φακοί επαφής τοποθετούνται σε ένα «δοχείο» με φυσιολογικό

“

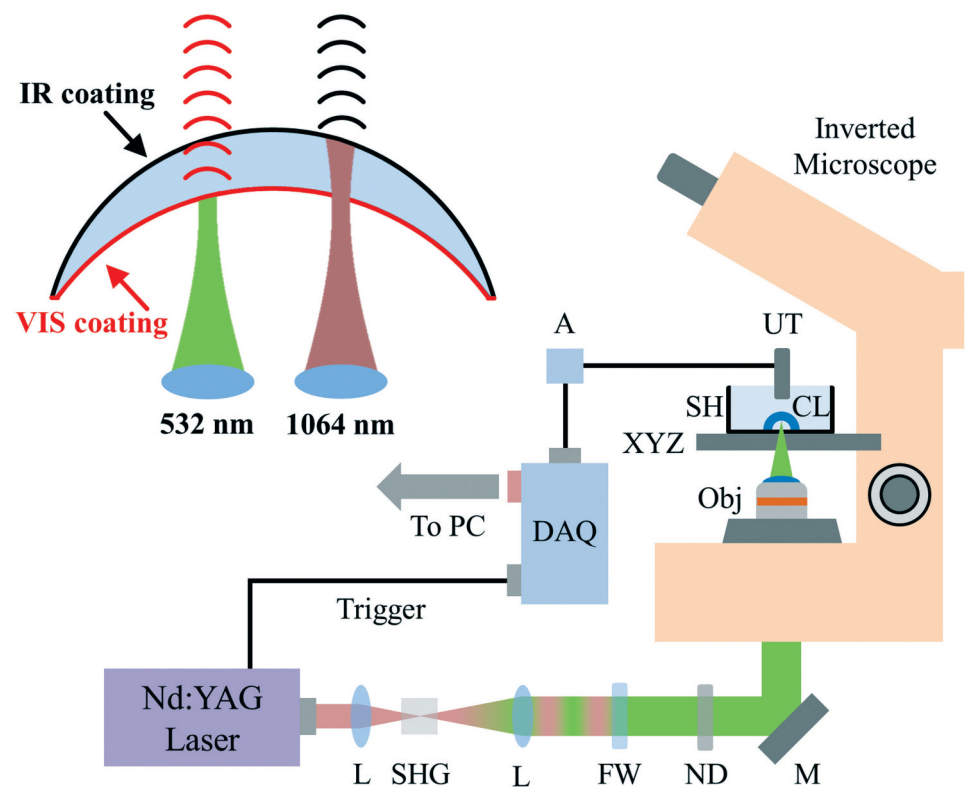
Δεν είναι ασυνήθιστο ορισμένοι παράμετροι των φακών στις ετικέτες να διαφέρουν από εκείνες του φακού, είτε λόγω εσφαλμένης σήμανσης, είτε λόγω περιορισμένης ακρίβειας κατασκευής, είτε λόγω μεταβολής των παραμέτρων κατά τη συσκευασία, το άνοιγμα ή φθορά κατά τη χρήση».

”

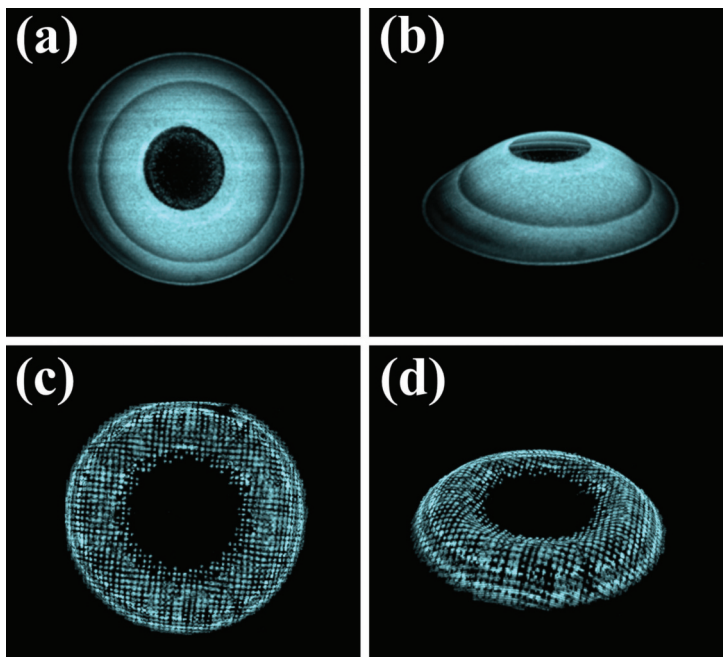
ορό (ώστε να μην αφυδατωθούν) και η ισχύς διορθώνεται λόγω του διαφορετικού δείκτη διάθλασης του αέρα με το νερό. Εκτός από το πρόβλημα της αποφυγής παραμόρφωσης του φακού στο δοχείο, η ανάλυση είναι σχετικά μέτρια. Πιο πρόσφατα υπολογίστηκαν τα προφίλ μαλακών φακών πολυεστιακού σχεδιασμού με την τεχνική της πτυχογραφίας, μιας μεθόδου βασισμένης στην περίθλαση, που εξασφάλισε ευκρίνεια ανάλυσης ίση με 7μm<sup>(7)</sup>.

Στο πλαίσιο μιας πρόσφατης μεταπτυχιακής εργασίας (στο ΜΠΣ «Οπτική και Όραση», Ιατρική Σχολή, Πανεπιστήμιο Κρήτης), που εκπονήθηκε σε συνεργασία με το «Εργαστή-

ριο in-vivo απεικόνισης» στο Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ), αναπτύχθηκε για πρώτη φορά μια νέα μεθοδολογία για τον χαρακτηρισμό των γεωμετρικών και οπτικών ιδιοτήτων Φ.Ε., η οποία βασίζεται στη φωτοακουστική μικροσκοπία οπτικής ανάλυσης (Optical Resolution Photoacoustic Microscopy, OR-PAM)<sup>(8)</sup>. Η απεικόνιση μέσω της OR-PAM επιτεύχθηκε μέσω της ανίχνευσης των ακουστικών κυμάτων που παράγονται σε ένα υλικό μέσο έπειτα από την οπτική απορρόφηση ακτινοβολίας, η οποία εκπέμπεται από μια παλμική ή διαμορφωμένης ισχύος πηγή λέιζερ. Παρά το γεγονός ότι η OR-PAM έως σήμερα είχε εφαρμοστεί αποκλειστικώς σε βιολογικά δείγ-



**Εικόνα 1:** Η εγκατάσταση φωτοακουστικής μικροσκοπίας διπλού μήκους κύματος για τον χαρακτηρισμό ενός φακού επαφής επικαλυμμένου με διαφορετικά χρώματα στην κάθε του επιφάνεια. Συντομογραφίες: (L) Φακός, (SHG) Δεύτερος κρύσταλλος αρμονικής δημιουργίας, (FW) Τροχός φίλτρου, (ND) Φίλτρα ουδέτερης πυκνότητας, (M) Καθρέπτης, (Obj) Αντικειμενικός φακός, (XYZ) Τρισδιάστατη μεταβατική φάση, (SH) Βάση στήριξης, (CL) Φακός επαφής, (UT) Μορφοτροπέας υπερήχων, (A) Ενισχυτής, (DAQ) Κάρτα απόκτησης δεδομένων.



**Εικόνα 2:** Τρισδιάστατες απεικονίσεις χρωματιστών μαλακών φακών επαφής. (α) - (β) Όψεις ενός φακού για την αποκατάσταση της ανιριδίας σ' έναν αφακικό ασθενή (με ισχύ +22.50D και διπλο-ασφαιρικές επιφάνειες, Troy T74 Brown 75%, +22.50D, Menicon Ltd.). (γ) - (δ) Παρόμοιες όψεις ενός έγχρωμου φακού επαφής χωρίς διαθλαστική διόρθωση (AIR OPTIX colors, Brown, plano power, Alcon Laboratories Inc, Fort Worth, TX, US).

ματα, αποδείξαμε ότι έχει τη δυναμική ν' απεικονίσει την πρόσθια και οπίσθια επιφάνεια ενός Φ.Ε., έπειτα από την αντίστοιχη επίστρωση τους με λεπτά στρώματα χρωστικών ουσιών, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικές ιδιότητες οπτικής απορρόφησης.

Πιο συγκεκριμένα, για την επίστρωση της πρόσθιας επιφάνειας του Φ.Ε. χρησιμοποιήθηκε μαύρο μελάνι με υψηλή οπτική απορρόφηση τόσο στο κοντινό υπέρυθρο, όσο και στα ορατά μήκη κύματος. Αντιθέτως, η οπίσθια επιφάνεια καλύφθηκε με κόκκινο μελάνι αμελητέας απορρόφησης στο κοντινό υπέρυθρο και υψηλής απορρόφησης, ιδιαίτερα στην περιοχή των μηκών κύματος που αντιστοιχεί στο πράσινο.

Χρησιμοποιώντας έτσι δύο μήκη κύματος

στο λέιζερ (1064 και 532nm) επιτεύχθηκε η διαδοχική απεικόνιση των επιφανειών, ενώ από το γινόμενο της χρονικής διαφοράς στα ακουστικά σήματα που παράχθηκαν στο κέντρο τους, με την ταχύτητα του ήχου, υπολογίστηκε το κεντρικό πάχος του Φ.Ε. Προσαρμόζοντας δευτεροβάθμια πολυώνυμα στις υπολογισμένες επιφάνειες εξάχθηκαν οι χάρτες ακτίνας καμπυλότητας και διοπτρικής ισχύος τους, οι οποίες μας επέτρεψαν τον υπολογισμό της συνολικής ισχύος του υπό μελέτη Φ.Ε.

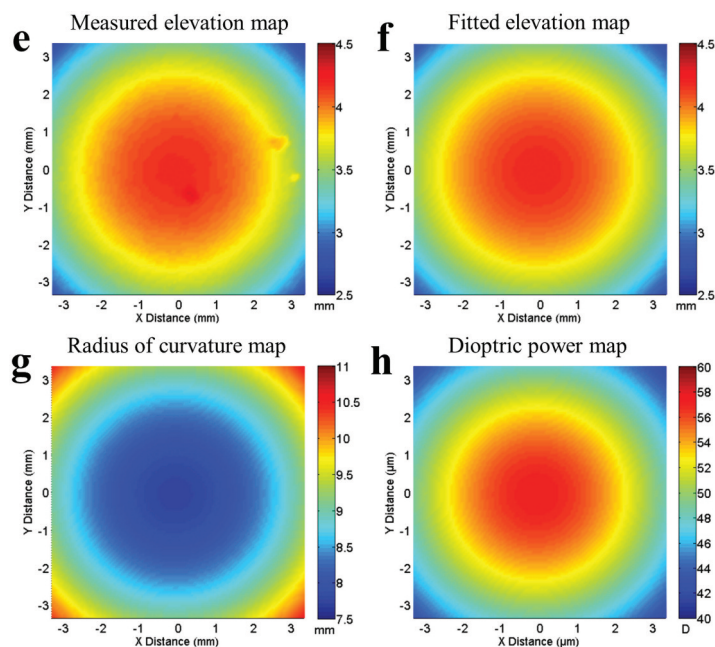
Για την κατάδειξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας ως ενός ισχυρού εργαλείου μετρολογίας, αλλά και ποιοτικής εξέτασης Φ.Ε., χρησιμοποιήθηκε μια σειρά φακών επαφής, όπως σφαιρικοί ημίσκληροι αδιαπερατοί (άκαμπτοι) και μαλακοί φακοί, και

έγχρωμοι και κοσμητικοί φακοί για περιπτώσεις ανιριδίας.

Στην περίπτωση των ημίσκληρων, τα αποτελέσματα των μετρήσεων μέσω ORPAM συγκρίθηκαν με τις τιμές του κατασκευαστή, απ' όπου διαπιστώθηκε υψηλή συμφωνία στις γεωμετρικές, αλλά και οπτικές, παραμέτρους των Φ.Ε., αποδεικνύοντας την αξιοπιστία της συγκεκριμένης προσέγγισης.

Συμπερασματικά, η ευκολία ανάπτυξης ενός τέτοιου απεικονιστικού συστήματος, σε συνδυασμό με την αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, την καθιστούν κατάλληλη για ευρεία εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα όσον αφορά τον ποιοτικό έλεγχο και τη βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων των Φ.Ε.

### Posterior surface



**Εικόνα 3:** Οπτικός χαρακτηρισμός της οπίσθιας επιφάνειας ενός ημίσκληρου αεροδιαπερατού (RGP) φακού. Χάρτες της οπίσθιας επιφάνειας για τη μετρηθείσα και πολυωνυμικά προσαρμοσμένη ανύψωση, την υπολογισμένη ακτίνα καμπυλότητας και την αντίστοιχη διοπτρική ισχύ.

### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Plainis S (1996). Methods for verifying the power of soft contact lenses. The Optician, 212 (5567): 42-52.
2. Campbell, C.E. Spherical aberration of a hydrogel contact lens when measured in a wet cell (2009) Optometry and Vision Science, 86 (7), pp. 900-903.
3. Plakitsi A and Charman WN (1997). Ocular spherical aberration and theoretical through -focus modulation transfer functions calculated for eyes fitted with two types of varifocal presbyopic contact lens, Contact Lens and Anterior Eye 20(3), 97-106.
4. Joannes, L., Hough, T., Hutsebaut, X., Dubois, X., Ligot, R., Saoul, B., Van Donink, P., De Coninck, K. The reproducibility of a new power mapping instrument based on the phase shifting schlieren method for the measurement of spherical and toric contact lenses (2010) Contact Lens and Anterior Eye, 33 (1), pp. 3-8.
5. Kollbaum P, Jansen M., Thibos L, Bradley A. (2008). "Validation of an off-eye contact lens Shack-Hartmann wavefront aberrometer," Optom Vis Sci 85(9), 817-828
6. Karnowski, K., Grulkowski, I., Mohan, N., Cox, I., Wojtkowski, M. Quantitative optical inspection of contact lenses immersed in wet cell using swept source OCT (2014) Optics Letters, 39 (16), pp. 4727-4730.
7. Plainis, S., Atchison, D.A., Charman, W.N. Power profiles of multifocal contact lenses and their interpretation (2013) Optometry and Vision Science, 90 (10), pp. 1066-1077.
8. Tserevelakis GJ, Tsagkaraki M, Tsilimbaris MK, Plainis S, and Zacharakis G (2017). Photoacoustic imaging methodology for the optical characterization of contact lenses. Opt. Lett. 42, 4111-4114