

Advanced phosphate glasses for photonics: from materials to applications

*Original*

Advanced phosphate glasses for photonics: from materials to applications / GALLICHI NOTTIANI, Duccio. - (2021 Apr 29), pp. 1-214.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2903486 since: 2021-05-31T16:50:25Z

*Publisher:*

Politecnico di Torino

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

Altro tipo di accesso

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# Abstract

Phosphate glasses are excellent candidates for several advanced photonics applications, thanks to their tailorable properties. During the present research, different compositions of phosphate glasses have been synthesised and successfully employed either in active, bioresorbable, or antibacterial optical applications. These materials can be drawn in fibre form, which provides enhanced potentialities in the photonics sector. A customised extrusion technique is here proposed to reshape the glasses into preforms that are subsequently drawn into standard 125- $\mu\text{m}$  fibres. This technique has been seldom used for glass processing but offers several advantages for the production of high-quality optical fibres, related to the possibility of varying the preform design reaching also non-symmetrical configurations, to the adaptability to different glass compositions and various shapes, and also to the enhanced surface quality of the results that averts time-consuming polishing procedures. These favourable features promote high design flexibility. The drawbacks of the glass extrusion technique, associated with preform distortions, are addressed during the current work. Solutions are proposed by using a simulation-aided approach along with several experimental strategies, allowing for an effective minimisation of the disturbances and optimisation of the results.

Three case studies are presented within the current thesis. The first is related to active fibre: phosphate glasses doped with active lanthanides are employed as optical fibre amplifiers systems to obtain compact high-power lasers. The extrusion technique was here applied for the production of active fibre preforms. The target device is a LIDAR system that can be mounted on a small flying drone and used for environmental monitoring applications. This part of the study was performed in collaboration with several international academic institutions. The second case study is related to bioresorbable microstructured phosphate glass fibres, employed as sensors or as light/drug delivery systems in biomedicine. Two separate fibres are studied, a solid-core hollow-cladding microstructure and an asymmetric double-channel design. These optical systems are thoroughly described along with the technique adopted for their optimisation. Computational fluid dynamics resulted as a powerful tool to study the behaviour of glass during extrusion of a complex-shaped preform. Finally, the third case study is related to antibacterial glasses, synthesised by adding several antimicrobial ions to a bioresorbable phosphate glass composition. The thermo-mechanical and optical properties are analysed together with preliminary tests of antibacterial and cytotoxicity assays performed on a Cu-doped glass. External partners were involved in the biological tests. The interesting results achieved so far encourage further studies in this field.

# Abstract

I vetri fosfati sono validi candidati per diverse applicazioni avanzate in fotonica, grazie alla variabilità delle loro proprietà. Durante l'attuale ricerca, varie composizioni di vetri fosfati sono state sintetizzate e impiegate con successo per applicazioni ottiche attive, biorisorbibili o antibatteriche. Questi materiali possono essere filati in forma di fibre, cosa che gli offre enormi potenzialità nel settore della fotonica. La tecnica personalizzata di estrusione qui descritta permette di trasformare i vetri in preforme, che vengono quindi filate come fibre standard con diametro di 125  $\mu\text{m}$ . Questa tecnica è stata raramente usata nella lavorazione del vetro ma, per la produzione di fibre ottiche di alta qualità, offre diversi vantaggi, legati alla possibilità di variare il design della preforma arrivando a costruire strutture asimmetriche, all'adattabilità del sistema a differenti forme e composizioni e, infine, all'ottima finitura superficiale dei manufatti. Queste caratteristiche degne di nota supportano un'elevata flessibilità di progetto. Le problematiche legate alle distorsioni della preforma durante il processo di estrusione del vetro sono state analizzate. Alcune soluzioni sono state trovate grazie all'uso di simulazioni supportate da diverse strategie sperimentali, che hanno permesso un'effettiva minimizzazione dei disturbi e un'ottimizzazione dei risultati.

In questa tesi vengono presentati tre casi studio. Il primo riguarda fibre attive: vetri fosfati drogati con lantanidi attivi sono impiegati in sistemi di amplificatori ottici in fibra allo scopo di ottenere laser compatti ad alta potenza. La tecnica dell'estrusione ha permesso di produrre preforme per fibre attive, adoperate come componente principale di un sistema LIDAR montato su un piccolo drone per applicazioni di monitoraggio ambientale e del territorio. Questa parte del lavoro è stata svolta in collaborazione con diverse istituzioni accademiche internazionali. Il secondo caso studio è legato alle fibre biorisorbibili microstrutturate, usate come sensori o come sistemi di trasporto di luce e farmaci in biomedicina. Due fibre differenti sono state studiate, una microstruttura con core solido e cladding cavo e un design a doppio canale. La dettagliata descrizione di questi sistemi ottici è supportata dalle tecniche adottate per la loro ottimizzazione. La fluidodinamica computazionale è risultata uno strumento potente per analizzare il comportamento del vetro durante l'estrusione di fibre ottiche di forma complessa. Infine, il terzo caso studio è incentrato su vetri antibatterici, sintetizzati aggiungendo ioni antimicrobici ad una composizione di vetro fosfato. L'analisi delle proprietà termomeccaniche e ottiche è accompagnata da valutazioni preliminari sull'antibattericità e citotossicità di vetri drogati con ioni di rame. I test biologici sono stati eseguiti con l'ausilio collaboratori esterni. Gli interessanti risultati raggiunti incoraggiano ulteriori studi in questo campo.