

FAiM

Fabrication-Aware intelligent MetaLenses

Programm / Ausschreibung	FORPA, Dissertaionen 2024, Industrienae Dissertationen 2026	Status	laufend
Projektstart	01.07.2026	Projektende	30.06.2028
Zeitraum	2026 - 2028	Projektlaufzeit	24 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 110.000		
Keywords	AI, KI, Metalense, Simulation, FDTD, fabrication-aware		

Projektbeschreibung

Metalinsen im sichtbaren Spektralbereich ermöglichen hochintegrierte optische Systeme mit reduziertem Bauraum und erweiterten Funktionalitäten. Der Stand der Technik im Design basiert entweder auf Meta-Atom-Bibliotheken mit lokaler Phasenabbildung oder auf vollwellenbasierten Optimierungsverfahren von frei geformten Meta-Atomen im inversen Designverfahren (von den Zielvorgaben zum Design). Während bibliotheksbasierte Ansätze robust und skalierbar sind, bleibt ihr Designraum begrenzt. Frei geformte Meta-Atome bieten höhere Freiheitsgrade, berücksichtigen jedoch Herstellungsgrenzen häufig nur eingeschränkt und sind rechnerisch aufwendig. Eine systematische, fabrication-aware Kopplung beider Ansätze existiert bislang nicht.

Das vorliegende Dissertationsprojekt verfolgt daher eine Hybridstrategie. Im ersten Schritt wird eine fabrication-aware Meta-Atom-Bibliothek für den VIS-Bereich aufgebaut, in der Material- und Prozessparameter (z. B. Mindeststrukturbreiten, systematische Strukturmaßabweichungen, Seitenwandwinkel, Residual-Layer-Variationen oder Materialparameterstreuungen) als strukturierte Designachsen integriert werden. KI-gestützte vereinfachte Ersatzmodelle anstelle von aufwändigen Vollwellensimulationen ermöglichen die effiziente Bewertung von Performance und Robustheit. Aufbauend darauf wird eine explorative auf frei geformten Meta-Atomen basierende Designkomponente entwickelt, bei der differenzierbar implementierte Herstellungsrestriktionen direkt in die Optimierung eingebettet werden. Durch den systematischen Vergleich beider Ansätze entsteht ein skalierbares fabrication-aware Designframework, das sowohl industrielle Umsetzbarkeit als auch methodische Innovation vereint.

Abstract

Metallenses operating in the visible spectral range enable highly integrated optical systems with reduced footprint and enhanced functionalities. The state of the art in design is based either on meta-atom libraries with local phase mapping or on full-wave optimization of free-form meta-atoms using inverse design approaches (i.e., from target specifications to geometry). While library-based approaches are robust and scalable, their design space is inherently limited. Free-form meta-atoms offer greater design freedom but often insufficiently account for fabrication constraints and are computationally demanding. A systematic, fabrication-aware integration of both approaches is currently lacking.

This dissertation project therefore follows a hybrid strategy. In a first step, a fabrication-aware meta-atom library for the visible (VIS) range will be established, where material and process parameters (e.g., minimum feature sizes, systematic dimensional deviations, sidewall angles, residual layer variations, and material parameter variability) are incorporated as structured design dimensions. AI-based surrogate models are used to efficiently evaluate optical performance and robustness, replacing computationally expensive full-wave simulations. Building on this, an exploratory design component based on free-form meta-atoms will be developed, where fabrication constraints are directly embedded into the optimization through differentiable implementations. By systematically comparing both approaches, a scalable fabrication-aware design framework will be established, combining industrial feasibility with methodological innovation.

Projektpartner

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH