EasiFil

Rolle zu Rolle-Umsetzbare Plasmonische Filter (Roll to Roll-Feasible Plasmonic Filters)

Programm / Ausschreibung	Produktion der Zukunft, Produktion der Zukunft, 32. AS PdZ - Nationale Projekte 2019	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	01.03.2020	**Projektende**	31.05.2023
Zeitraum	2020 - 2023	**Projektlaufzeit**	39 Monate
Keywords	plasmonics; plasmonic filters; nanoimprint lithography; roll-to-roll processing; sputtering; evaporation		

Projektbeschreibung

EasiFil beschäftigt sich mit dem Design, der Herstellung und Charakterisierung plasmonischer Filter die sich problemlos auf Rolle-zu-Rolle (R2R) Nanopräge-Lithographie-Anlagen mit anschließender R2R-Metallisierung implementieren lassen. Typische Probleme der R2R-Herstellung wie der Detailverlust der geprägten Geometrien, sowie Besonderheiten bei der Metallisierung werden von Beginn an in das Design einbezogen und ermöglichen eine problemlose Umsetzung auf den Produktionsanlagen des Industriepartners Hueck Folien.
Das Design der plasmonischen Filter ist bewußt einfach gehalten und zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:
i) Abscheidung einer einzelnen Metallschicht als funktionale Schicht ohne weitere Dielektrika
ii) spezielle Eigenheiten der R2R-Metallisierung werden berücksichtigt
iii) Herstellung der Nanostruktur ohne Lift-off und mit geringen Seitenverhältnissen
iv) typische Präge-Geometrien, wie abgerundete Kanten, werden in das Design einbezogen.
Das einfache Design erlaubt Prozessschritte einzusparen und eine äußerst kostengünstige und wenig fehleranfällige Herstellung der plasmonischen Filter zu gewährleisten. Damit hebt sich das Projekt deutlich von bisherigen Ansätzen im Labormaßstab ab, bei denen plasmonische Filter nur unter spezieller, wenig praktikabler Metallisierung, sowie mit deutlich aufwendigeren Verfahren hergestellt wurden. Insbesondere sollen im Projekt zwei Arten von plasmonischen Filtern mit den oben dargestellten Designansätzen untersucht werden.

Plasmonische Farbfilter erlauben es, durch Veränderung der Geometrie im Nanometerbereich, verschiedene Farben in Reflexion und/oder Transmission auf einem Substrat mit nur einem Beschichtungsschritt zu erzeugen. Daher eignen sie sich für hochauflösende Design- und Dekor-Folien. Während im Stand der Technik die Transmission gering ist, zeichnen sich die im Projekt vorgeschlagenen Farbfilter durch eine hohe Transmission im sichtbaren Bereich von mindestes 50% und verschiedenen Farben (rot, grün und blau) in Reflexion aus.

Plasmonische Solar-Control-Beschichtungen, zeichnen sich durch eine hohe Transmission im Bereich des sichtbaren Lichtes und einer geringen Transmission im nahinfraroten Spektralbereich (700 nm – 3 µm) aus. Diese Beschichtungen erlauben, insbesondere in warmen Klimaten, ein angenehm kühles Raumklima ohne Einbußen bei den sichtbaren Lichtanteilen. Die im

Projekt vorgeschlagenen Solar-Control-Beschichtungen sollen eine mittlere Transmission von 80% im sichtbaren Bereich, sowie eine mittlere Transmission von weniger als 20% im nahinfraroten Bereich, aufweisen. Im Stand der Technik bestehen diese Beschichtungen aus aufwendig hergestellten, planaren Multischichtsystemen aus bis zu 11 Schichten, wohingegen im Projekt EasiFil nur eine einzige Metallschicht benötigt wird.

Das ideale Design der beiden plasmonischen Filter wird zuerst durch AIT mittels optischer Simulationen ermittelt und anschließend im Labormaßstab realisiert, bevor es auf den R2R-Anlagen von Hueck-Folien, mit Folienbreiten von 350mm und bei Geschwindigkeiten von bis zu 10 m/s, hergestellt wird.

Abstract

EasiFil deals with the design, fabrication and characterization of plasmonic filters and their smooth implementation to roll-to-roll (R2R) nanoimprint lithography systems with subsequent R2R-metallization. Typical problems of R2R production, such as the loss of detail of the embossed structures, as well as particularities in the metallization, are considered in the design from the beginning on and allow a problem-free implementation on the production facilities of industrial partner Hueck Folien. The design of the plasmonic filters is deliberately kept simple and is characterized by the following properties:
i) deposition of a single metal layer as the functional layer without further dielectrics
ii) special features of the R2R metallization are considered
iii) production of the nanostructure without lift-off and with low aspect ratios
iv) typical embossing geometries, such as rounded edges, are included in the design.

The simple design allows to save process steps and to ensure an extremely cost-effective and less error-prone production of plasmonic filters. Thus, the project clearly stands out from previous approaches on the laboratory scale, in which plasmonic filters were produced only under special, less practical, metallization and with significantly more complex procedures. In particular, the project will investigate two types of plasmonic filters using the design approaches outlined above.

Plasmonic color filters allow for different colors in reflection and/or transmission with only one coating step, by slightly changing the nanostructure geometry. Therefore, they are suitable for high-resolution design and decor films. While in the state of the art, the transmission is low, the proposed color filters are characterized by a high transmission in the visible range of at least 50% and different colors (red, green and blue) in reflection.

Plasmonic Solar-Control-Coatings are characterized by a high transmission in the visible spectral range and a low transmission in the near-infrared spectral range (700 nm - 3 µm). These coatings allow, especially in warm climates, a pleasant, cool room climate without sacrifices in the visible light range. The solar control coatings proposed in the project shall have an average transmission of 80% in the visible range and an average transmission of less than 20% in the near-infrared range. In the state of the art, these coatings consist of elaborately produced planar multilayer systems of up to 11 layers, whereas in the project only a single metal layer is needed.

The ideal design of the two plasmonic filters is first determined by AIT using optical simulations and then realized on a laboratory scale, before being applied to the R2R systems of Hueck Folien, with film widths of 350 mm and speeds of up to 10 m/s.

Endberichtkurzfassung

Das Ziel von EasiFil war die Entwicklung von plasmonischen Filtern, die einfach durch Rolle-zu-Rolle (R2R) Nanoimprint-Lithographie in Kombination mit R2R-Metallisierung hergestellt werden können. Ein entscheidender Aspekt des Projekts war die Berücksichtigung typischer Probleme der industriellen R2R-Fertigung (z.B. Detailverluste der aufgedruckten Nanostrukturgeometrien und Eigenheiten der Metallisierung) im Filter- und Prozessdesign. Ein weiteres Ziel war es, eine unkomplizierte Prozessumsetzung in der Produktionslinie von Hueck Folien zu ermöglichen. Daher haben wir versucht, ein einfaches und effizientes Konzept zu entwickeln, das: (i) Nanostrukturen mit geringem Aspektverhältnis berücksichtigt, die weniger anfällig für Defekte sind, die durch den Prägeprozess verursacht werden, (ii) die Abscheidung möglichst weniger, im besten Fall einer einzelnen Schicht beinhaltet, (iii) Abscheidetechniken mit Abschattungseffekten berücksichtigt, wie thermisches Verdampfen oder Sputtern, (iv) keine Lift-off-Prozesse beinhaltet. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen haben wir versucht einen Prozess für kostengünstige und effiziente Filter zu finden, der aber gleichzeitig auch Produktionsfehler verzeiht. Das ideale Design der plasmonischen Filter sollte zunächst durch Simulationen (Finite-Difference-Time-Domain (FDTD)) bestimmt, dann im Labormaßstab realisiert und schließlich in der R2R-Prozesslinie von Hueck-Folien hergestellt werden.

Die wichtigsten Projektergebnisse können folgendermaßen zusammengefasst werden:

In einem ersten Ansatz wurde ein Si-Master mit Nanosäulen verwendet. Nach dem Prägeprozess fand die Metallabscheidung statt, die zu einem Muster führte, das aus einer perforierten Metallschicht und Metallscheiben am Boden der geprägten Löcher bestand. Die Tiefe der Löcher ist derart beschaffen, dass destruktive Lichtinterferenz im sichtbaren Spektralbereich auftritt. Aufgrund der Lochperiodizität muss auch die Lichtbeugung berücksichtigt werden, die zusätzliche Farbeffekte erzeugen kann. Die Struktur ist jedoch so ausgelegt, dass sie die Lichtbeugung unterdrückt. Dazu wird die Periode so gewählt, dass die erste Beugungsordnung für Wellenlängen auftritt, die kleiner als das sichtbare Licht sind. Jegliche Farbeffekte werden somit durch die Anregung von lokalisierten Oberflächenplasmonen (localized surface plasmons LSPs) in den Scheiben und/oder propagierende Oberflächenplasmonen (propagating surface plasmon-polaritons SPPs) in der perforierten Metallschicht verursacht. Propagierende Moden sind unwahrscheinlich und die Kopplung zwischen LSPs in den Scheiben mit ihren Bildladungen in der perforierten Schicht sollte der vorherrschende Mechanismus sein. In unseren Experimenten konzentrierten wir uns, wie im Projektplan vorgesehen, auf gesputterte und aufgedampfte metallische Einzelschichten aus Ag, Al und Cu. Zur optischen Charakterisierung wurde nach der Metallabscheidung die beschichtete Seite mit Resist und einem Glasobjektträger verkapselt.

Auf dem strukturierten Glas wurden gesputterte Ag-Schichten mit einer Dicke von 7 bis ~50 nm abgeschieden. Da sich das Metall auch an den Flanken der Löcher ablagert, werden die Löcher mit zunehmender Schichtdicke schmäler. Obwohl wir nicht sicher sein können, ab welcher Metalldicke die Metallscheiben mit der Lochschicht verbunden werden, kann davon ausgegangen werden, dass dies bei einer Ag-Schichtdicke > 20 nm der Fall ist. Wir haben für alle Proben Transmissions- und Reflexionsspektren gemessen. Bei den Reflexionsspektren fällt das Licht entweder von der abgeschiedenen Seite der Probe (Vorderseite) oder von der Substratseite (Rückseite) ein. Aufgrund der Asymmetrie der Struktur in der Reflexionskonfiguration sind die beiden Spektren (von der Vorder- und Rückseite) unterschiedlich. Dies ist bei der Transmission (aufgrund der symmetrischen Konfiguration) nicht der Fall.

Um die erzeugten Farben quantitativ zu charakterisieren, wurde der CIE 1931-Farbraum verwendet, der durch die x-, y-, z-

Farbanpassungsfunktionen dargestellt wird. Für jedes Transmissions- und Reflexionsspektrum wurden die x,y,z-Funktionen berechnet und die Koordinaten im CIE-Farbraum positioniert. Wie von den Simulationen zu erwarten war, werden je nach Ag-Dicke unterschiedliche Farben erhalten. Interessanterweise werden für eine bestimmte Ag Dicke 3 verschiedene Farben erhalten: Blau, Rot und Grün, jeweils in Transmission oder in Reflektion von der Vorderseite bzw.-Rückseite gemessen. Die erhaltenen Farben ändern sich nicht mit dem Lichteinfallswinkel, wie es bei einem plasmonischen Ursprung des Farbfiltereffekts erwartet werden kann.

Ähnliche Effekte konnten auch mit thermisch bedampften Silberschichten beobachtet werden. Thermisches Aufdampfen ist eine stärker gerichtete Abscheidungstechnik als Sputtern. Dies kann zu einer reduzierten Metallabscheidung an den Flanken der Nanostrukturen führen, wodurch lebendigere Farben erzeugt werden. Ob eine Verbindung zwischen den Scheiben und der perforierten Metallschicht durch die Flanken besteht, lässt sich zwar nicht mit Sicherheit ableiten, aber es sieht so aus, als ob die Verengung der Löcher mit zunehmender Ag-Dicke weniger ausgeprägt ist als bei gesputterten Ag. Dies würde mit der erwarteten stärker gerichteten Metallabscheidung übereinstimmen. Wie auch für die gesputterten Filter konnten wir bei gewissen Schichtdicken 3 Farbein in Transmission und Reflektion beobachten. Ausgeprägte farbfilternde Eigenschaften wurden auch für aufgedampfte Aluminiumschichten erhalten, welche ein hohes Potential für eine weiter Produktionskostensenkung bieten. Farbfilterstrukturen mit Schichten aus Kupfer, Nickel oder Chrom führten jedoch nicht zu Farbeffekten, die auf Plasmonen zurückgeführt werden konnten.

In einem zweiten, verfeinerten Ansatz haben wir Farbfilter entwickelt, die Nanosäulen oder Nanolöcher mit niedrigem Aspektverhältnis auf einer R2R-bedruckten Folie aufwiesen. Diese Strukturen wurden entweder mit einer einzelnen Metallschicht oder einer Kombination von Metall und Dielektrika versehen, um die Filtereffekte zu verstärken oder zu modifizieren. In einem ersten, explorativen Schritt wurde die Abscheidung der Filme im Labormaßstab realisiert. Für bestimmte Nanostrukturgeometrien wurden ausgeprägte, nichtdispersive Farben erhalten, die unempfindlich gegenüber produktionsbedingten Defekten in den Nanostrukturen waren. Der Einfluss verschiedener Metalle und Dielektrika wurde umfassend experimentell charakterisiert und mit Hilfe optischer Simulationen im Detail untersucht. Die optimierten Materialkombinationen wurden dann in der letzten Phase dieses Ansatzes in der R2R-Prozesslinie von Hueck Folien eingesetzt. Der vollständige R2R-Prozess, der sowohl die Nanoprägelithographie als auch die Materialabscheidung beinhaltete, zeigte erfolgreich die industrielle Anwendbarkeit des Konzepts für den Einsatz in verschiedenen Zielanwendungen.

Projektkoordinator

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Projektpartner

- Hueck Folien Gesellschaft m.b.H.