

一般社団法人光融合技術協会(AIOT) からご提案する反射防止技術開発

ほとんどの光学デバイスは
設計→成膜 and/or 微細加工
の工程から作られる。

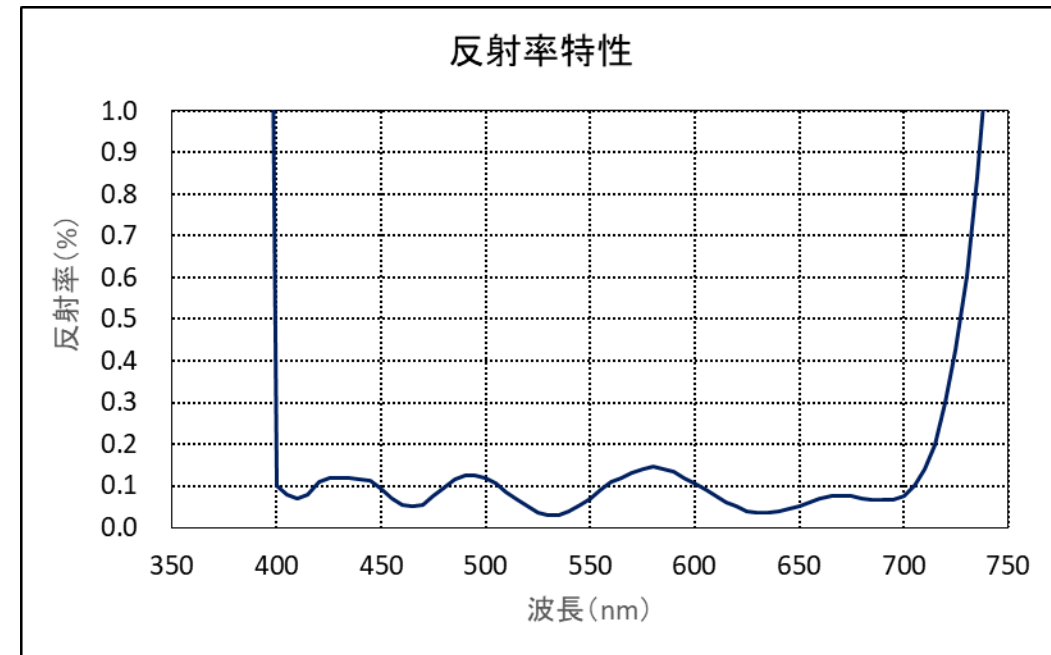
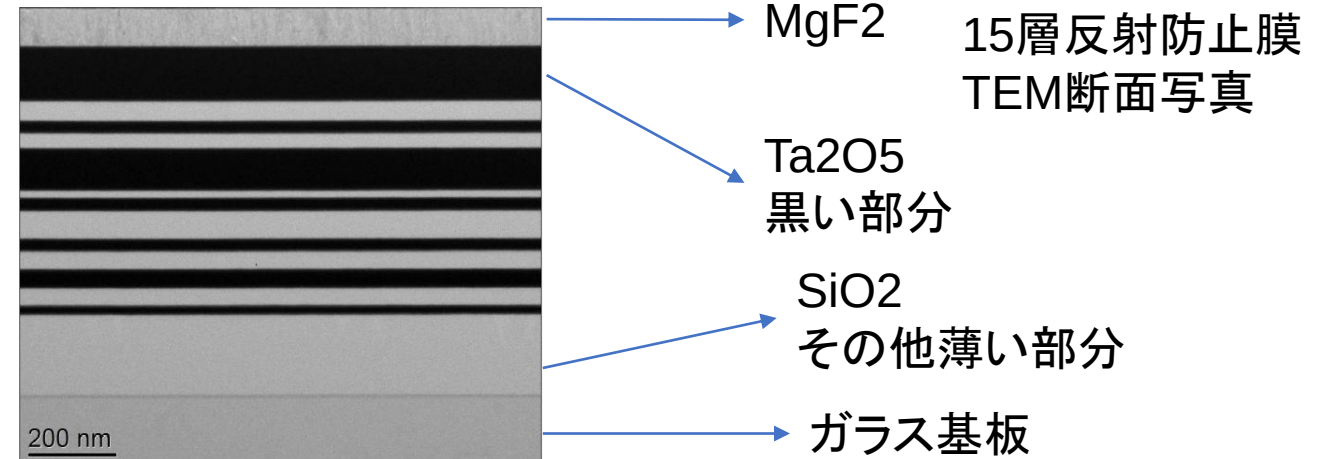
反射防止技術を例に試作のご提案をする。

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| 1. 設計→成膜 | AIOT + オプトグリーン株式会社 |
| 2. 成膜 and/or 微細加工 | AIOT + 東北大学試作コインランドリ |
| 3. 成膜 and/or 微細加工 | AIOT + (株)サーフテックトランスナショナルの欧州技術 |

1. 設計→成膜 AIOT + オプトグリーン株式会社

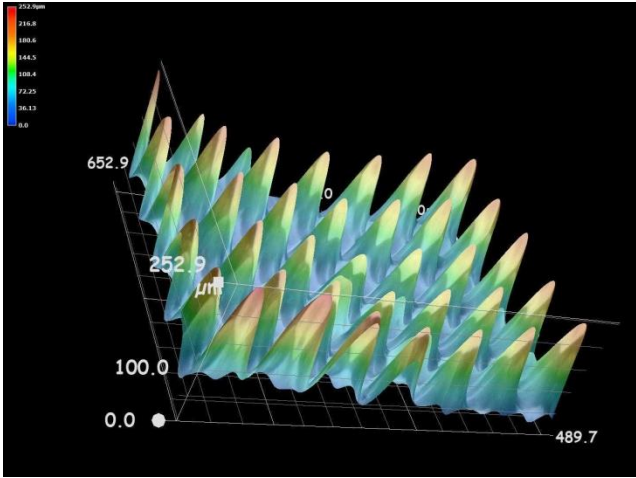
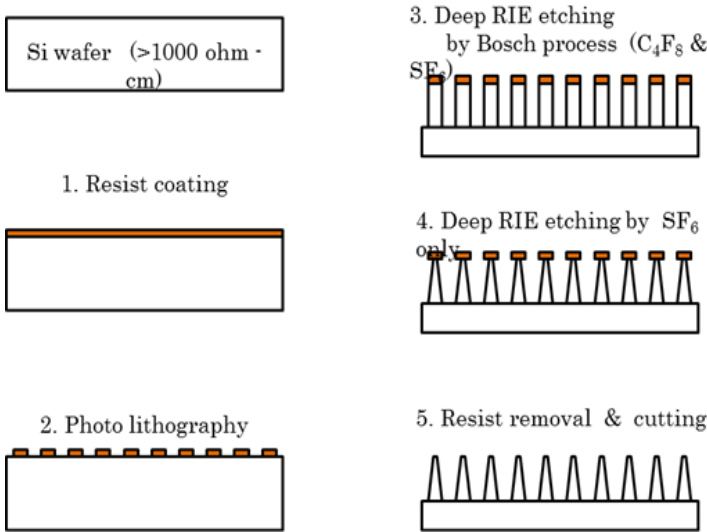
可視域反射防止(多層膜) $\lambda=400\sim700\text{nm}$

	多層膜AR
特性	$R \leq 0.2$
材料	MgF ₂ , SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , Ta ₂ O ₅ , Nb ₂ O ₅ , Ti ₃ O ₅
構造	薄膜多層膜
どんな製品?	カメラ、スマホ
設計	4層以上
プロセス	真空蒸着、スパッタ
応用	各種光学素子
現在の技術レベル	実用化
イメージ図	左図参照



例 反射防止構造

特性	
材料	Si、ガラス、ポリマー(インプリント)
構造	モスアイ構造等
どんな製品？	
設計	
プロセス	フォト(または電子線)リソグラフィ、ドライエッチング、ナノインプリント
応用	
現在の技術レベル	応用開発
試作可能な大きさ	最大直径200mm
実施場所	東北大学試作コインランドリ



文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム利用報告書
F-12-TU-0069 広帯域反射防止構造の試作
佐々木 哲朗(静岡大学)

3. 成膜 and/or 微細加工 AIOT + (株)サーフテックトランスナショナルの欧州技術

(株) サーフテックトランスナショナルの欧州技術パートナーの反射防止関連技術

		鈴木巧一:(株) サーフテックトランスナショナル代表/フラウンホーファーFEP日本代表/一般社団法人光融合技術協会理事		
技術保有元		対応波長領域	反射防止構造	応用例や可能性
I	フラウンホーファーFEP(独)	1 紫外～赤外	多層膜	眼鏡レンズ、光学レンズ、時計のカバーガラス
		2 紫外～赤外	多層膜	ホログラフィックディスプレイ用3波長反射防止ガラス
		3 紫外～赤外	多層膜	
II	フラウンホーファーIST(独)	1 可視～近赤外	多層膜	下のような曲面基板への均一コートは難しい。
III	フラウンホーファーIOF(独)	1 可視～近赤外	多層膜	
		2 赤外、遠赤外	表面微細加工(ナノ& マイクロストラクチャー)	
		3 可視～近赤外	成膜とナノストラクチャーの組合せ	機械的な強度が落ちるので、それを実用としない応用に向いている。
IV	フラウンホーファーIWS(独)	1 可視～赤外	表面微細加工	反射防止が必要な、新型コロナ感染防止対策としての透明アクリル仕切り板やフェースシールドなど
V	AGC-PTS(ベルギー)	1 可視～近赤外	多層膜系	建築、自動車、ディスプレイ用大面積反射防止ガラス(最大6m×3.4m)
		2 可視～近赤外	多層膜系	自動車などのディスプレイ用曲面基板への均一反射防止コート
		3 可視～近赤外	表面改質+ 微細加工	自動車用ディスプレイ、ヘッドアップディスプレイやLidarの反射防止ガラス、時計は不可(欧州企業独占)。凹凸に指紋などの油汚れが付いた場合は、ドライの布などではふき取れないが、ウェットな布などで除去できる。砂塵や屋外暴露にも強い。
VI	SmitThermal Solutions(旧Meyyer Burger,蘭)	1 赤外	Si3N4膜によるSiウエハー反射防止	SiOx/Si3N4系の反射防止が使える用途
VII	Meyyer Burger(独)	2 赤外	SiO2/Si3N4膜による反射防止	
VIII	HSM TechConsult GmbH(独)(注:Prof. SchmidtのINM時代に開発した技術)	1 可視～近赤外	多層膜、多孔質膜	自動車のフロントガラス、一般的な低コスト多層反射防止コートフィルムなどに適。眼鏡などにも。
		2 可視～近赤外	エンボス技術(モスアイ構造)	反射防止が必要な、新型コロナ感染防止対策としての透明アクリル仕切り板やフェースシールドなど

フラウンホーファーFEPの反射防止技術

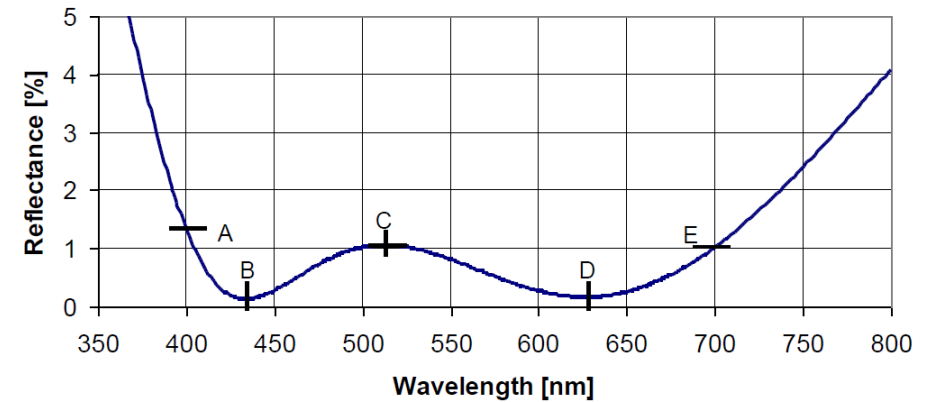
3- I -1. DRM400による多層膜

基板対向式高速デュアルパルスマグネトロン スパッタ源DRM400による多層膜

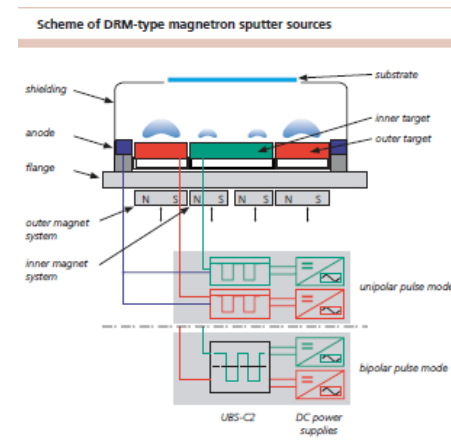
特性	典型的な3層ARから多層膜による広帯域ダークAR、傾斜ARまで対応可能。高速、ち密、優れた再現性、膜質制御の自由度が大きい（特にハイブリッドパルス化モジュールは有効）ことなどが特徴。
材料	傾斜ARはSiO ₂ ..SiO _x N _y ..Si ₃ N ₄ 系かAl ₂ O ₃ ..AlO _x ..AlN系。多層膜はどのような光学材料も可能。
構造	薄膜多層膜、傾斜膜
対象波長範囲	UV~遠赤外（膜材料と膜構成の選択による）
設計	単層から多層膜まで
プロセス	反応性パルスマグネトロンスパッタのバイポーラモードと ユニポラー（低温）モード が可能で、プラスチック、特にプラスチック板やレンズには後者が有効。
応用	各種光学素子、眼鏡レンズ、カメラ、スマホ、。。。
現在の技術レベル	実用化実績十分
イメージ図	右図参照

傾斜膜

AR Gradient SiO_xN_y (Substrat n=1.6)



DRM400の原理



DRM400外観



ハイブリッドパルス化モジュール



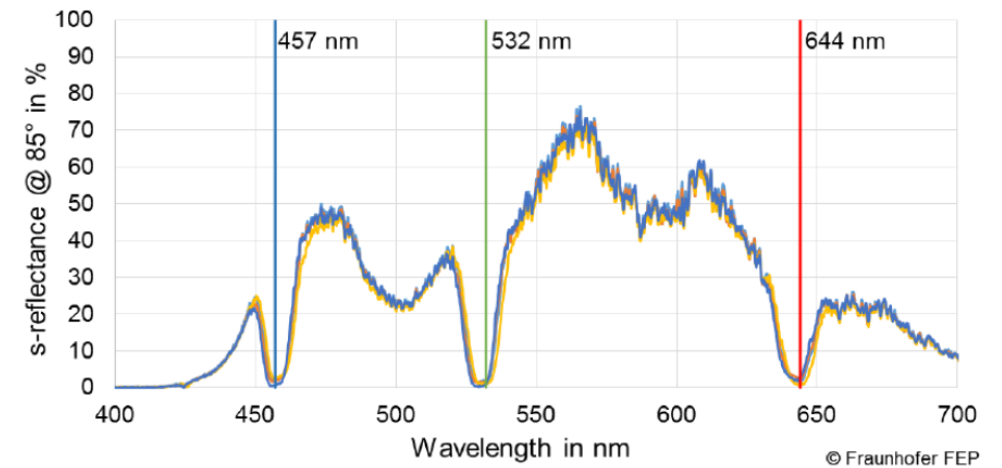
フラウンホーファーFEPの反射防止技術

I - 2. RMカソードによる多層膜

インライン、R2R用高速パルスマグネトロン スパッタ源RMによる多層膜

特性	典型的な3層ARから23層3波長反射防止までの実績有り。 ＜隠れアノード付き特殊デュアル矩形カソードRM＋パルス電源＋反応性スパッタのプロセス精密制御＞により 高速成膜（>80nm.m/min）、低温成膜（プラスチック基板に適用可能）、均一成膜（＜±1%）、プロセス安定性、多様な膜質制御性、大面積成膜可能。
材料	多層膜はどのような材料も可能。最近は、赤外域用の材料も検討中。
構造	薄膜多層膜、
対象波長域	UV～遠赤外（膜材料と膜構成の選択による）
設計	単層から多層膜まで
プロセス	反応性パルスマグネトロンスパッタのバイポーラモードとユニポーラ（低温）モードが可能で、プラスチックには後者が有利。
応用	各種光学素子、光学パネル、立体テレビ用光源、他
現在の技術レベル	実用化実績有り
イメージ図	右図参照

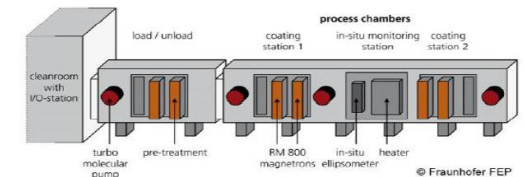
3波長反射防止（300x400角基板）



RMカソードと 技術パッケージ



RM800を2台搭載した PreSensライン



フラウンホーファーFEPの反射防止技術

I - 3. arcPECVD (or magPECVD)とスパッタによる多層膜

超高速arcPECVD (or 高速magPECVD)と 高速パルススパッタによる多層AR	
特性	低屈折率層SiOxCyHz膜 (n~1.46)の超高速 (>2000 nm.m/min)成膜により、生産コストを下げられる。低応力 (フィルム基材のカール無し)、スパッタとのおおぼ同じ動作圧力 (=スパッタとの併用、組合せ可能)
材料	PECVDは低屈折率SiOxCyHz膜。高屈折率膜は、典型的なTa2O5, Nb2O3, TiO2など
構造	薄膜多層膜
対象波長域	UV~近赤外
設計	多層膜
プロセス	PECVDにはアーク放電、またはマグネトロン放電を使い、スパッタは反応性パルスマグネトロンスパッタ。
応用	大面積多層反射防止ガラス、プラスチック車のフロントガラス、ディスプレイ
現在の技術レベル	生産機レベル
イメージ図	右図参照

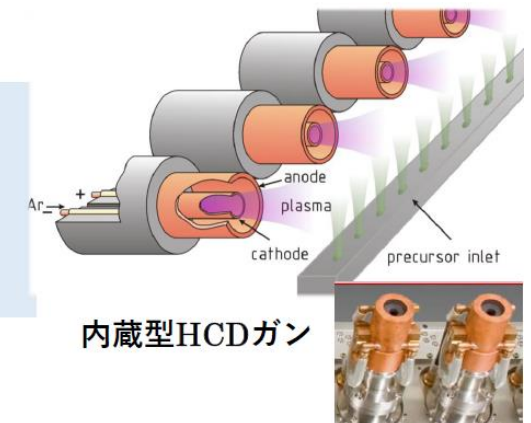


- substrate curling due to layer stress
- nearly no layer stress

- high homogeneity over web width

FEPの超高速arcPECVD

- 動作圧力: 0.1 – 5 Pa
- プラズマ源: ホローカソードアーク
- モノマー: HMDSO, アセチレン, ...
- 成膜速度: > 2000 nm · m/min
- 有機・無機混合膜



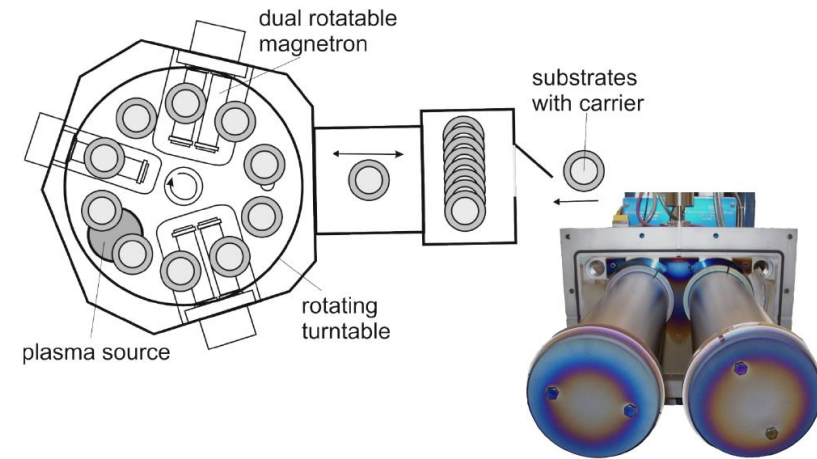
フラウンホーファーISTの反射防止技術

3- II C-magによる多層膜

回転カソードを用いたパルスマグネトロンスパッタ

特性	金属薄膜スパッタとその酸化を繰り返す、いわゆるMETAMODEスパッタリングをC-Magとターンテーブル型コーターで実現したもの。しかし、むしろ、還元性ターゲットを用いる方が有利と考える。精密制御不要が不要になり、膜質も安定で、再現性も確保できる。ただし、膜質制御の自由度は反応性スパッタにくらべると少ない。
材料	一般的な光学材料を利用可能。還元性ターゲットが使えるのはNb2O5, TiO2など。SiO2はSiCが使える。
構造	薄膜多層膜
対象波長域	UV~近赤外
設計	標準は多層膜
プロセス	還元性ターゲットを用いたC-magからのスパッタ。微量の酸素の付加で十分なので、精密制御不要。ターンテーブル型。
応用	各種光学素子
現在の技術レベル	実用化実績有り
イメージ図	右図参照

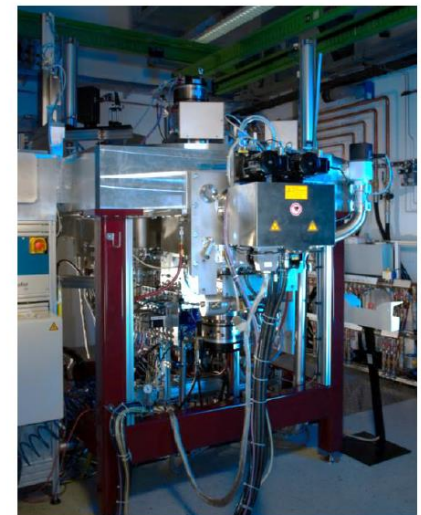
EOSS® – Enhanced Optical Sputter System
Setup at Fraunhofer IST



EOSS® – Enhanced Optical Sputter System

Main Features

- dual cylindrical magnetrons
- batch size: 10 substrates with Ø 200 mm
- fast turntable 250 rpm
- sputtering in metallic (with post oxidation) or reactive mode
- full optical control and process automation



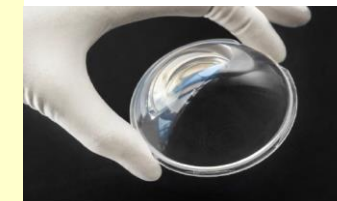
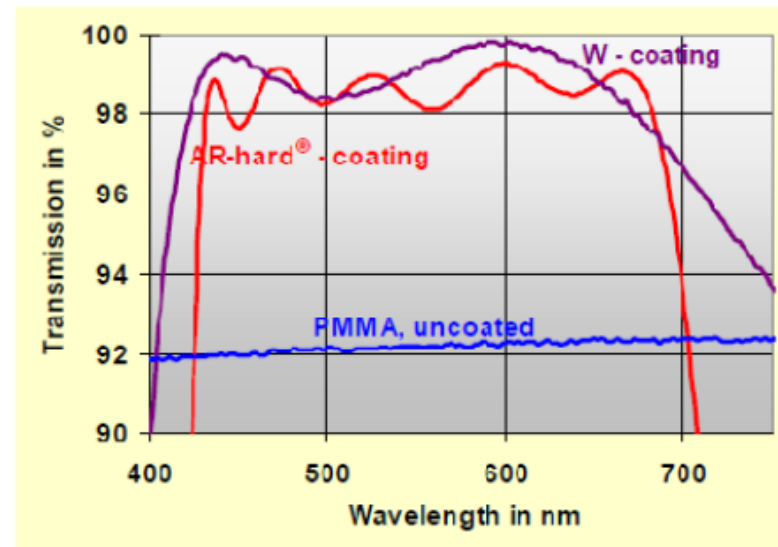
フラウンホーファーIOFの反射防止技術

3-Ⅲ-1. 蒸着によるAR-hard

AR-hard

広帯域低反射AR-hard

特性	プラレンズ用の多層膜による広帯域ダークAR。耐摩耗性に優れているので、プラスチック基板へのハードコート不要。
材料	低屈折率層: SiO ₂ 、高屈折率層: TiO ₂ , Ta ₂ O ₅
構造	薄膜多層膜
対象波長域	可視～近赤外
設計	9層前後
プロセス	イオンビームアシスト蒸着法
応用	各種光学素子(自動車などの光源用)
現在の技術レベル	実用化実績十分
イメージ図	右図参照



Polymer capable processes applying Plasma-IAD

- investigation of interactions between Plasma and polymer surfaces
- special coating designs for scratch resistant antireflection coatings
- optimization of deposition parameters
- low-temperature deposition of ITO
- hydrophilic and hydrophobic layers
- complex characterization and testing



フ라운ホーファーIOFの反射防止技術

3-Ⅲ- 2. 表面微細加工によるAR

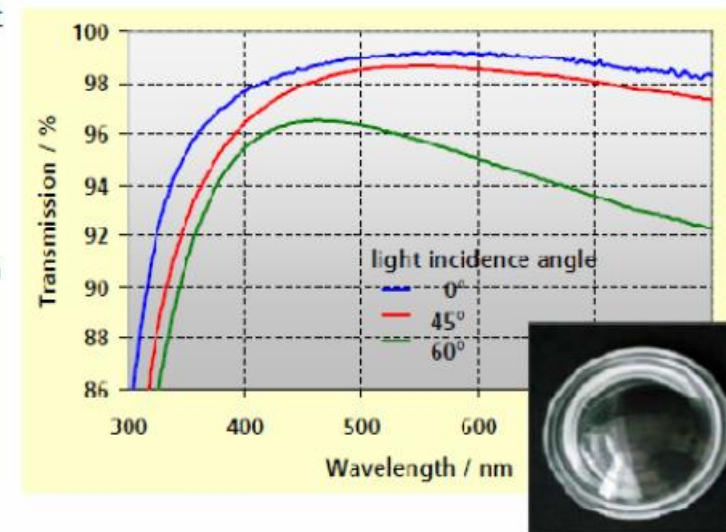
AR-plas

表面微細加工(ナノ&マイクロストラクチャー)AR

特性	プラレンズの表面微細加工により凹凸形成。平面でも曲面でも可能。反射率の入射角の依存性は少ない。転写も可能。
材料	膜ではない。プラスチック対象。
構造	モスアイ構造
対象波長域	可視～遠赤外
設計	ナノ、マイクロ構造
プロセス	イオンビームエッチング
応用	光学レンズ（自動車用照明など）
現在の技術レベル	実用化実績有り。
イメージ図	右図参照

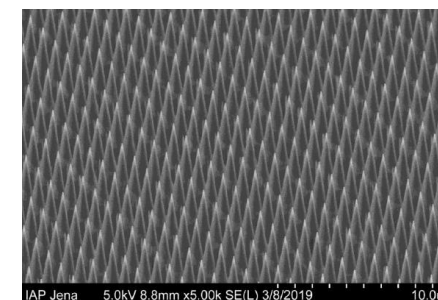
AR-plas® on PMMA

- high transmission on flat structured and curved surfaces
- structure is suitable as „master“ for hot-embossing
- License agreements with Fresnel-Optics GmbH and JOPS GmbH



Patent WO04092789A1

FIR域でのダイヤモンドの反射防止
($\lambda > 6\mu\text{m}$ 、構造深さ: $5\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$)



フ라운ホーファーIOFの反射防止技術

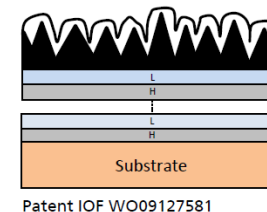
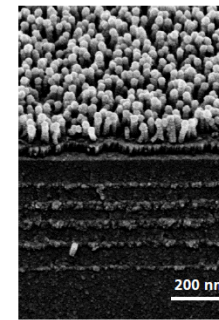
3- III- 3. 成膜と表面微細加工によるAR

成膜とナノストラクチャーの組合せによる広帯域AR

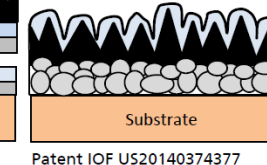
特性	成膜とナノストラクチャーの組合せによる広帯域中性色のAR
材料	低屈折率層: SiO ₂ 、高屈折率層: TiO ₂ , Ta ₂ O ₅
構造	薄膜多層膜+ナノストラクチャー
対象波長域	可視～遠赤外
設計	一般的な光学設計
プロセス	蒸着 + イオンビームエッチング
応用	各種光学素子
現在の技術レベル	実用化実績有り
イメージ図	右図参照

Broadband AR-Systems

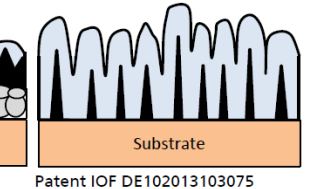
- Combining of coatings and nanostructures
- Antireflection coatings
- Color-neutral coatings



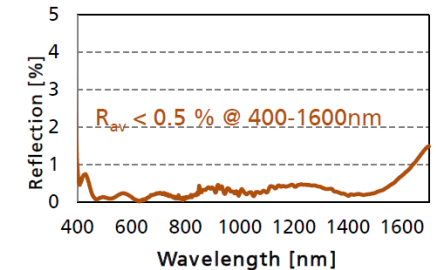
Patent IOF WO09127581



Patent IOF US20140374377



Patent IOF DE102013103075



Polymer capable processes applying Plasma-IAD

- investigation of interactions between Plasma and polymer surfaces
- special coating designs for scratch resistant antireflection coatings
- optimization of deposition parameters
- low-temperature deposition of ITO
- hydrophilic and hydrophobic layers
- complex characterization and testing



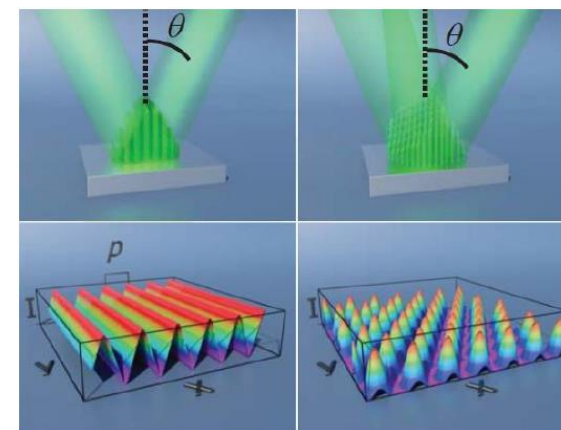
フラウンホーファーIWSの反射防止技術

3- IV 直接レーザー干渉パターニング(DLIP)による反射防止

直接レーザー干渉パターニング(DLIP)による反射防止

特性	基材に直接凹凸を形成するか、あるいは、金型表面にこの技術を用いて凹凸を形成し、その構造を転写することで、対象とする基材に凹凸（モスアイ構造）を形成し、反射防止効果を得る。
材料	基材
構造	モスアイ構造
対象波長域	可視～遠赤外
設計	モスアイ構造
プロセス	直接レーザー干渉パターニング(DLIP)
応用	
現在の技術レベル	生産レベル
イメージ図	右図参照

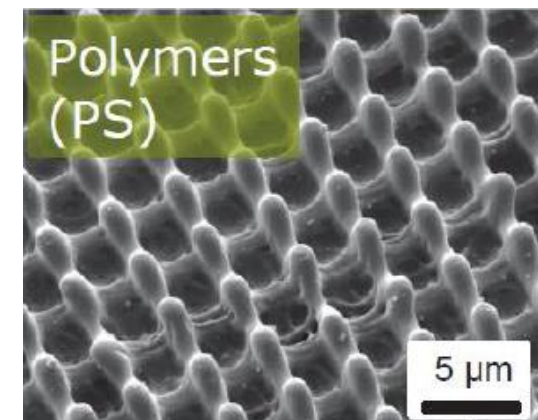
DLIPの原理



2 ビーム干渉

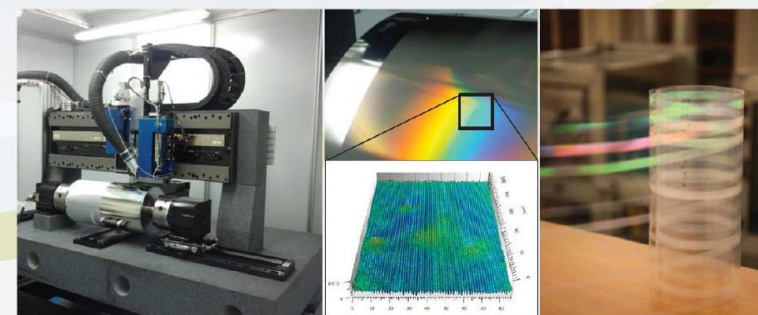
3 ビーム干渉

モスアイ構造による反射防止



Roll-to-Roll DLIP

- Structuring speeds of 10 m²/min on polymers (in 2016)
- Designed for fixed structure geometry and size
- Possible integration in existing fabrication systems

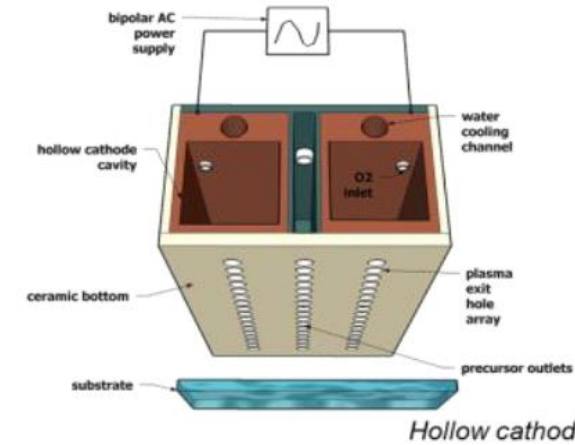


AGC-PTSの反射防止技術

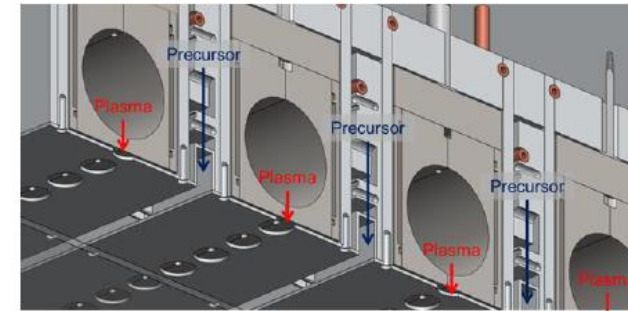
3- V-1. ホローカソードPECVD(PlasmaMAX)による反射防止

ホローカソードPECVD(PlasmaMAX)による反射防止

特性	低屈折率層SiO _x 膜 (n~1.46)の超高速 (> 200nm.m/min) 成膜, カーボンフリー (<2%)、低応力 (フィルム基材のカール無し)、スパッタとのおお同じ動作圧力 (= スパッタとの併用、組合せ可能)
材料	出発原料 (プリカーサー) を変えれば様々な膜材料の成膜が可能だが、安全性から主にTMDSOまたはHMDSOからのSiO _x 膜形成が主。
構造	薄膜多層膜用(主には低屈折率SiO _x 膜形成に用いる)
対象波長域	可視～近赤外
設計	4層以上の多層膜の低屈折率SiO _x に用いる
プロセス	ホローカソード放電による酸素100%プラズマをPECVDのプラズマ源に活用。
応用	各種光学素子、眼鏡レンズ、カメラ、スマホ、。。。
現在の技術レベル	大面積インラインスパッタ用設備あり。生産レベル。
イメージ図	右図参照



PlasmaMAX™
Hollow Cathode PECVD



AGC-PTSの反射防止関連技術

3- V - 2. 曲げ基板への均一成膜技術 "iOSMB"

オンライン磁場調整による曲げ基板への均一成膜技術

特性	外部から回転カソードのチューブ内に配置された磁石の位置を変更できるように真空を破らずにターゲット表面の磁場強度を調節でき、それによって、成膜速度を調整して、曲げ基板への均一な成膜を実現できることが特徴である。ただし、一方向の曲げに限る。
材料	どのような膜材料にも適用可能。
構造	薄膜多層膜
対象波長域	主に可視～近赤外域。しかし、原理的にどの波長にも適用可能。
設計	4層以上
プロセス	回転カソード + パルス電源
応用	大型曲面ガラス（自動車用ディスプレイなど）
現在の技術レベル	大面積インラインコーター向け生産レベル
イメージ図	右図参照

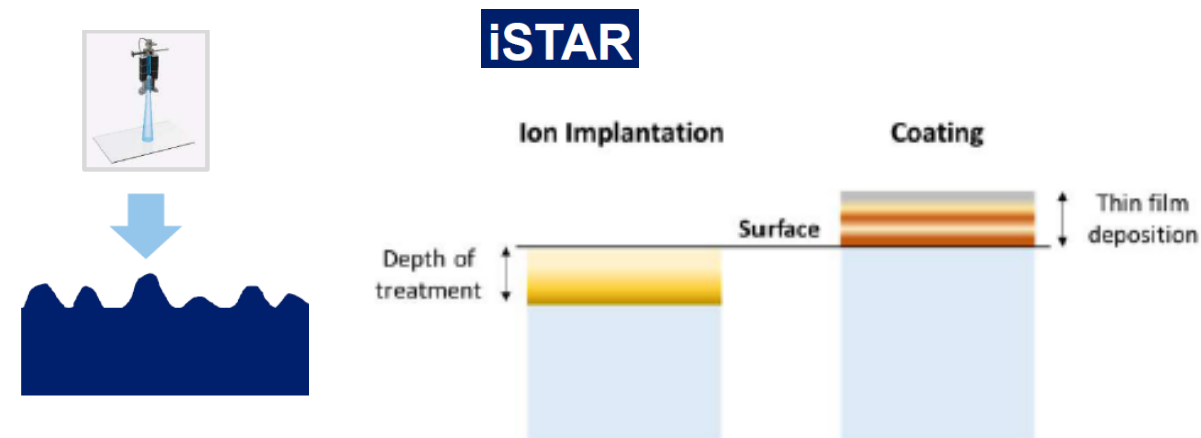


AGC-PTSの反射防止技術

3- V - 3. イオン注入による反射防止技術 "iSTAR"

大面積イオン注入による反射防止

特性	ボロシリケートガラス表面域の屈折率のNイオンによる調整でAR効果を実現。薄膜ではなく、表面改質による反射防止なので、耐摩耗性に優れる。フロスト加工表面と組み合わせると角度依存性もない。
材料	基材にN ⁺ イオン照射し、表面を改質（低屈折率化）
構造	表面改質傾斜層
対象波長	可視～近赤外
設計	屈折率（N濃度）傾斜層
プロセス	大面積イオン注入、基板を移動して均一処理
応用	各種光学素子
現在の技術レベル	実用化実績十分
イメージ図	右図参照



大面積用イオン注入処理装置



AGC Implanter for glass



- World premier achieved :
 - ion implantation up-scaled up to **5 ion gun at once**
 - homogeneous treatment** up to 1.6 x 1.8 m on glass

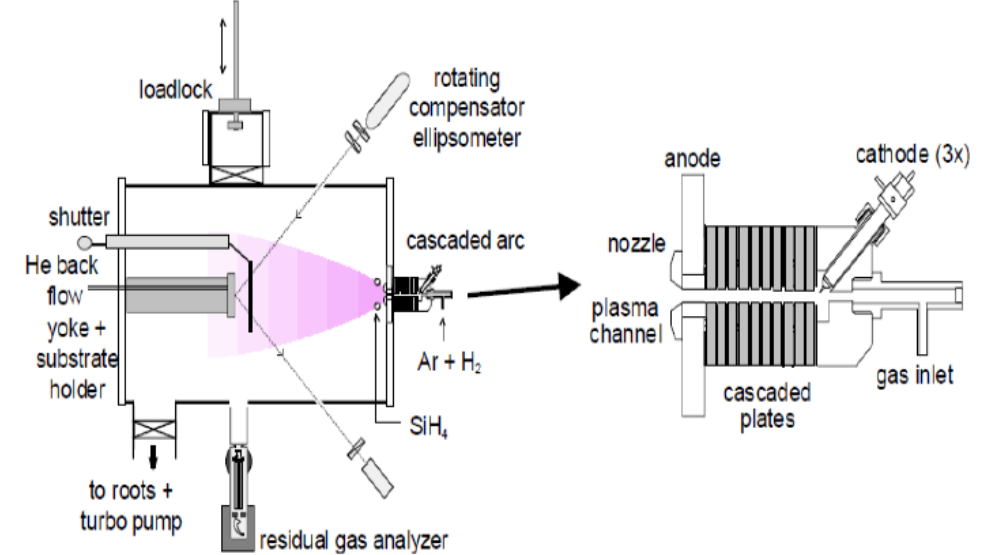
Smit Thermal Solutionsの反射防止技術

3- VI 高速ETP-PECVDによる反射防止膜

高速カスケードアークプラズマ(ETP)アシストPECVD による反射防止

特性	SiO _x , Si ₃ N ₄ 膜の高速形成可能、プラズマ源のカソードの長期間寿命 (1年以上)
材料	SiO ₂ ..SiO _x Ny..Si ₃ N ₄
構造	薄膜
対象波長域	可視~赤外
設計	1層以上
プロセス	カスケードプラズマガンETPをプラズマ源としたPECVD
応用	太陽電池Siの反射防止
現在の技術レベル	実用化実績十分
イメージ図	右図参照

ETPとPECVDの構成と原理



ETP-PECVD装置



FLEx R2R: 2-side R2R plasma coater
For pilot and high volume

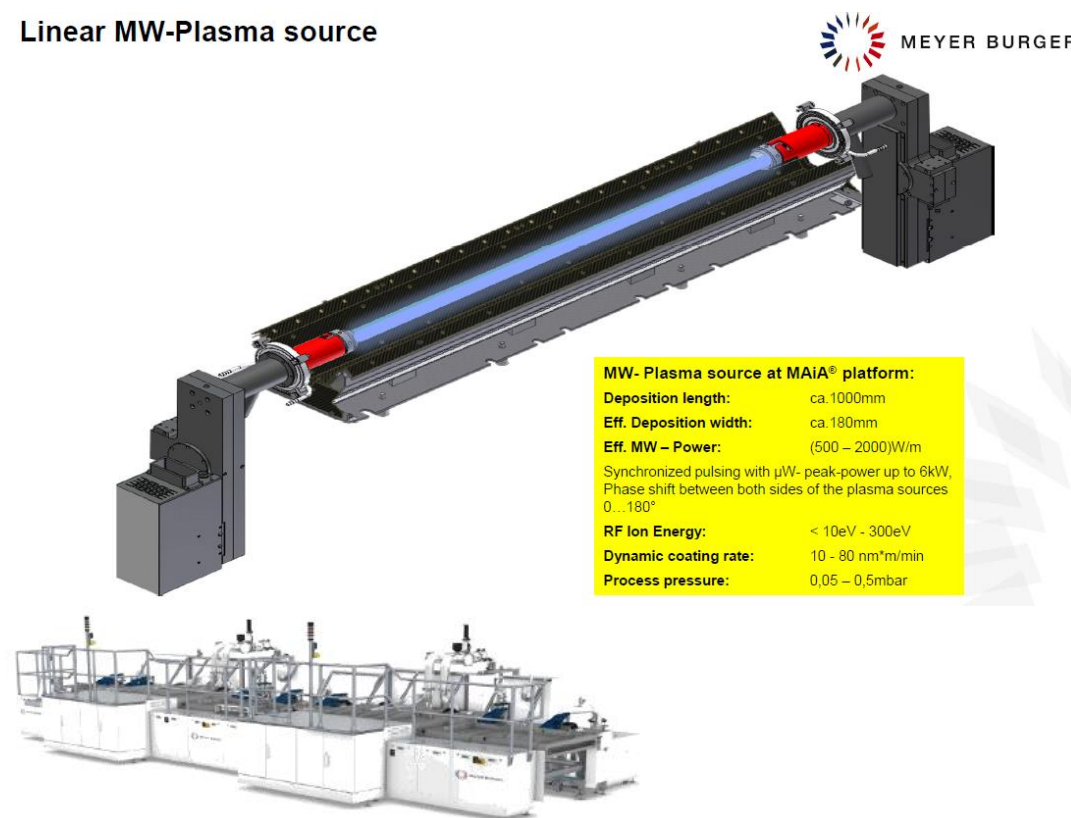
Meyer Burger (独)の反射防止技術

3- VII マイクロウェーブMW-PECVDによる反射防止膜

マイクロウェーブプラズマCVD(MW-PECVD) による反射防止

特性	マイクロウェーブプラズマリアソースを利用したPECVD
材料	SiO ₂ ..SiO _x Ny..Si ₃ N ₄
構造	薄膜
対象波長域	可視～赤外
設計	1層以上
プロセス	数10cm幅のリニアプラズマ源を配列したPECVD
応用	太陽電池Siの反射防止
現在の技術レベル	実用化実績十分
イメージ図	右図参照

Linear MW-Plasma source



MW- Plasma source at MAiA® platform:

Deposition length:	ca. 1000mm
Eff. Deposition width:	ca. 180mm
Eff. MW – Power:	(500 – 2000)W/m
Synchronized pulsing with μ W- peak-power up to 6kW, Phase shift between both sides of the plasma sources 0 ... 180°	
RF Ion Energy:	< 10eV - 300eV
Dynamic coating rate:	10 - 80 nm ³ /m/min
Process pressure:	0,05 – 0,5mbar

Large area, High throughput

- Industrially proven tray based Inline PECVD equipment SiNA® / MAiA® / HELiA®
- Installed base > 800
- Substrate widths up to 1000 mm
- Carrier size: 1100mm x 760mm

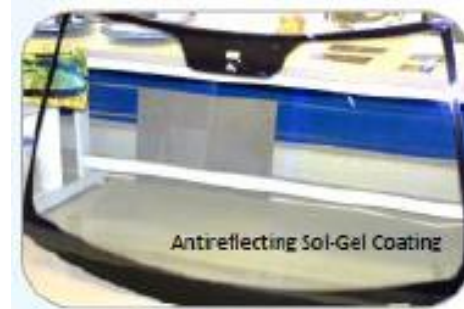
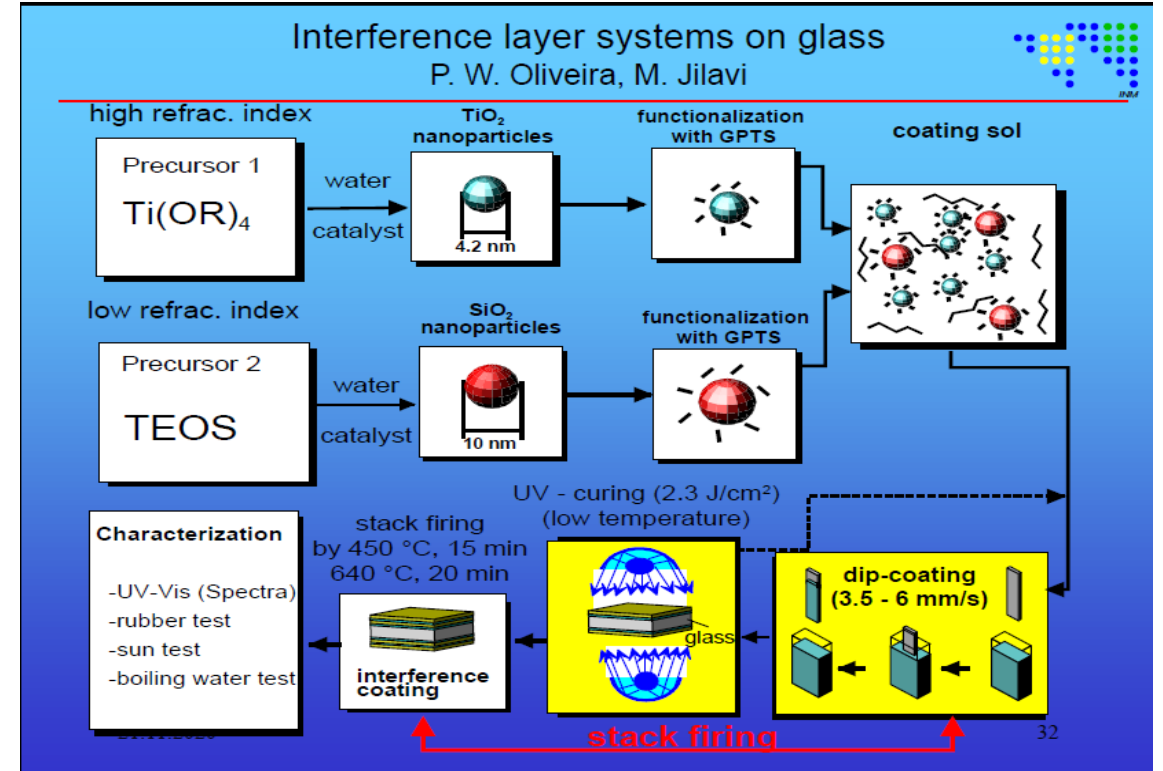
MW-PECVD
生産機

HSM TechConsult GmbHの反射防止技術

3- VIII-1、ゾルゲル法による反射防止技術

ナノ微粒子分散ゾルゲル膜反射防止

特性	SiO ₂ /TiO ₂ /...: SiO ₂ もTiO ₂ も高濃度のナノ微粒子を含有しているために、キュアリング時の体積収縮が少ないために、厚膜でも一回でキュアリングして固化できる特徴がある。また、表面処理（官能基の導入）を施したナノ微粒子により、分散を良くすると同時に、様々な機能を付加できることも特徴である。
材料	SiO ₂ 、TiO ₂
構造	薄膜
対象波長域	可視～近赤外
設計	4層以上
プロセス	自動車用フロントガラスの反射防止には、ロボットを用いたパイロットスプレイコーター+加熱炉によるキュアリングが用いられた。
応用	自動車フロントガラス、眼鏡レンズ、時計
現在の技術レベル	一部実用化、パイロット
イメージ図	右図参照



HSM TechConsult GmbHの反射防止技術

3- VIII- 2、ゾルゲル法によるエンボス加工技術

ゾルゲル膜のエンボス加工によるモスアイ反射防止

特性	R2Rによるプラスチックフィルムへの高速エンボス処理技術。可能性だけであるが、IWSの高速直接レーザー干渉パターンニング法を用いてマザー表面を形成し、金型に転写、その後、この技術でプラスチックフィルムや板に超高速でエンボス構造を形成し、反射防止効果を付与することが大変興味深い。
材料	ゾルゲル厚膜
構造	厚膜
対象波長域	可視～近赤外
設計	一層
プロセス	水平搬送式やR2R式処理装置
応用	反射防止プラスチックフィルム、フェースシールドなど
現在の技術レベル	一部多用途でパイロットまで
イメージ図	右図参照

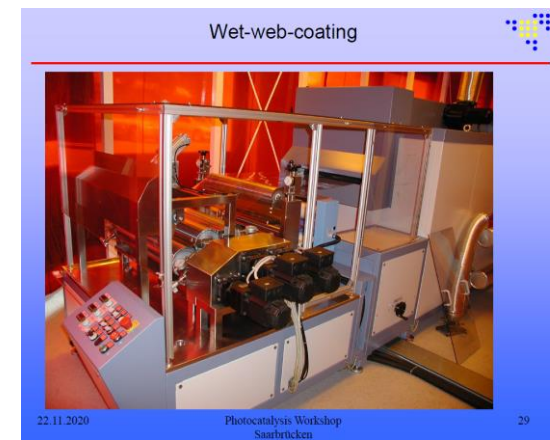
High Performance Embossing Foil
P. W. Oliveira, A. Berni, K. Fries

material:
for thixotropic embossing: 3-glycidioxypropyl trimethoxy silane *
with THAH** modified SiO₂ ***

options:
metallization
filling with high index material
cured structure
UV-irradiation
pressure = 8 mN/mm²
nanomer film
substrate: glass or plastic

* A. Gier, N. Kunze, M. Mennig, P. W. Oliveira, S. Sepeur, B. Schäfer, H. Schmidt, DE 10001135 A1, 13.01.2000
** tetrahexylammoniumhydroxide
*** A. Frantzen, Dissertation, University of Saarbrücken, 2002

21.11.2020 45



ゾルゲル
R2Rコーター