

とちぎ光技術研究発表会

- 首都圏北部4大学連合 第19回新技術説明会-
- 光融合技術イノベーションセンター 研究発表会-

「イメージセンサ用光学フィルタ」

宇都宮大学 工学部 産学官連携研究員
室 幸市

2013, 11/26

1

背景

光学薄膜産業の最量生産物: 光反射防止膜

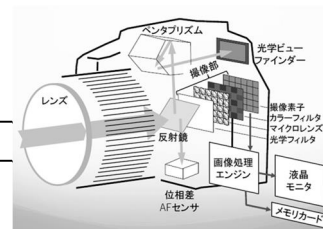
多種の材料を必要とし、プロセスの煩雑化と装置の大型化
→ 単一材料から光反射防止膜の作製法を提案

ローパスフィルターとして水晶が使用されている

偏光分離角の大きさから小型化の制限
→ 大きな偏光分離角を持つ光学異方性膜を提案

目次

1. イメージセンサに用いられる光学フィルタ
カラーフィルター
赤外線カットフィルター
光減衰フィルター
3CCD色分解フィルタ
2. 光反射防止膜
2-1. 原理、成膜方法
2-2. 多元スパッタ装置による光反射防止膜の作製例
3. ローパスフィルター
3-1. 原理
3-2. 斜め蒸着膜



京都産業大 蚊野教授 資料「デジ
カメ画像処理のしくみ」より

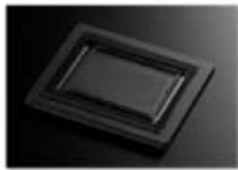
2

イメージセンサー

種類 (デジタルカメラ)

デジタルカメラ、カメラ付き携帯電話、ビデオカメラ、放送用カメラ、医療用カメラ、車載カメラ、防犯カメラ、サーモグラフィ、紫外カメラ、X線カメラ、高速カメラ、高精度カメラ、車用白線検知カメラ、マシンビジョン、など

イメージセンサー付近の図



キヤノン製CMOSイメージセンサー
(24.6×13.8mm)

キヤノン社 White Paper
「映像撮影用新型CMOSセンサーにおける、
RGB解像度についての考察」より

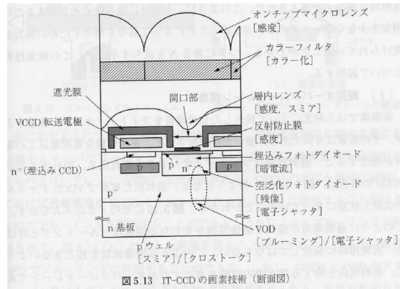


図 3.13 IT-CCD の画素技術 (断面図)

CCDの構成例

黒田隆男著「イメージセンサの本質と基礎」、
コロナ社より

デジタルカメラの内部概略

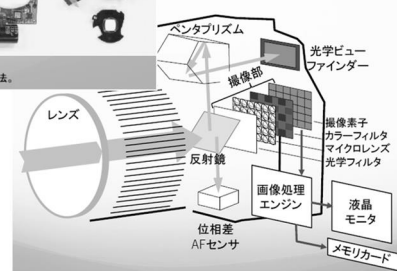


<http://techn.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20090215/165679/>から転載
ティアダウン: 実製品を細部の部品まで分解し、技術力やコストについて比較分析し、コストダウンを図る手法。

コンパクトデジタルカメラの部品群

京都産業大 蚊野教授 資料「デジ
カメラ画像処理のしくみ」より

デジタル一眼レフ カメラの概略図

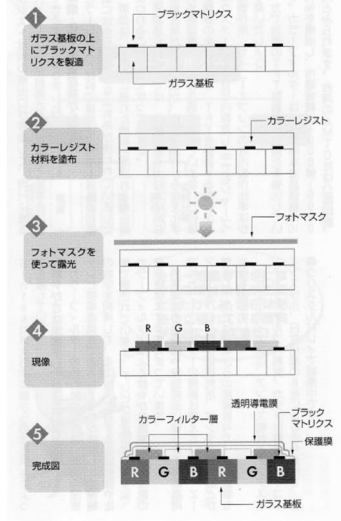


カラーフィルター

原料: カラーレジスト (RGB)

製造法

1. ブラックマトリクス製造
2. カラーレジスト塗布
3. フォトマスク、露光
4. 現像
5. 回路作製



泉谷 渉+半導体産業新聞編集部「これがディスプレイの全貌だ!」より

カラーフィルターの作製概略
(参考: ディスプレイ作製)

5

赤外線カットフィルター

光のトリミングが必要

CCD素材: シリコンフォトダイオード

近赤外域に高い感度

光量調整難、色バランス調整難

近赤外線カット、可視光取り出し

構造

- ・リン酸塩ガラスフィルター
- ・干渉フィルター(蒸着無機物/ガラス)
- ・無機系化合物入りプラスチックフィルター

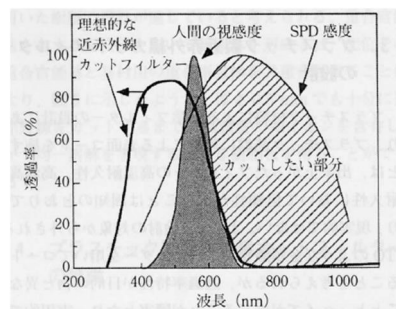


図1 SPD感度、人間の視感度と理想的な近赤外線カットフィルター透過率の波長依存性¹⁾

CCD感度、人間の視感度と、近赤外線カットフィルターの波長依存性

株式会社技術情報協会「生産現場における光学薄膜の設計・作製・評価技術」より

6

光減衰フィルタ

光量調整が必要

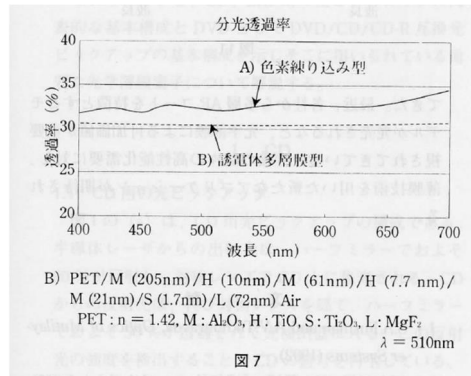
絞りでは限界がある(F値、回折限界に依存)

透過率を変化させる素子

色バランスの為に波長無依存が良い

構造

- ・色素練り込み型
 - 安価、波長依存性が劣る
- ・金属膜型
 - 波長依存性に劣る
- ・誘電体多層膜型
 - フラットは波長依存性が可能



光減衰フィルタの波長依存性

- A)色素練り込み型
- B)誘電体多層膜型

株式会社技術情報協会「生産現場における光学薄膜の設計・作製・評価技術」より

7

3CCD色分解フィルタ

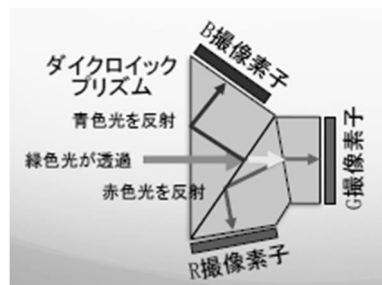
ビデオカメラ

CCDを各色(RGB)に分けて撮像

高感度、高色再現性

構造

- プリズムにダイクロイックミラーがコーティングされている。
- ダイクロイックミラー：色分解(波長)フィルタの一種、誘電体多層膜
- ・第1プリズムの第2面で、B(青色)が反射
 - ・第2プリズムの第2面で、R(赤色)が反射
 - ・2つの面で反射されなかった透過光がG(緑色)となる



RGB3色分解プリズム

京都産業大 蚊野教授 資料「デジカメ画像処理のしくみ」より

8

光反射防止膜

機能としての目的

- ・透過光の増加
- ・フレア、ゴーストの低減
- ・ノイズの低減



カメラにおけるゴーストとフレア

キヤノン株式会社ホームページ
「キヤノンサイエンスラボ」より

原理

- ・干渉
- ・構造による屈折率変化
- ・光吸収

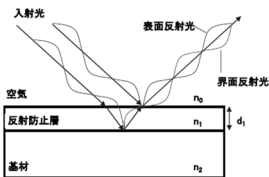
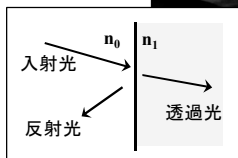
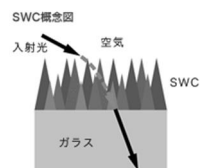
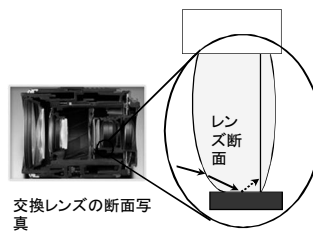


Fig.3 Principle of AR film



ナノサイズのくさびが反射を抑制
キヤノン株式会社ホームページ
「キヤノンサイエンスラボ」より



交換レンズの断面写真

干渉による反射防止機構

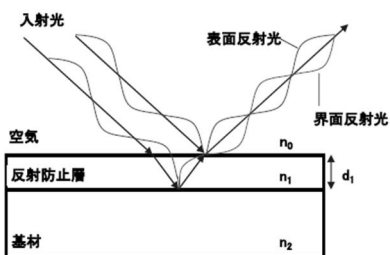
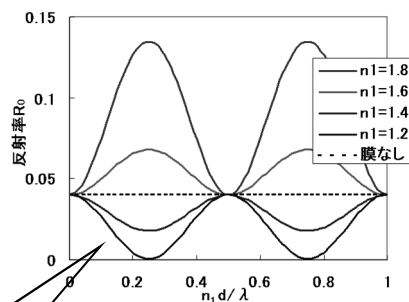


Fig.3 Principle of AR film

干渉による反射防止

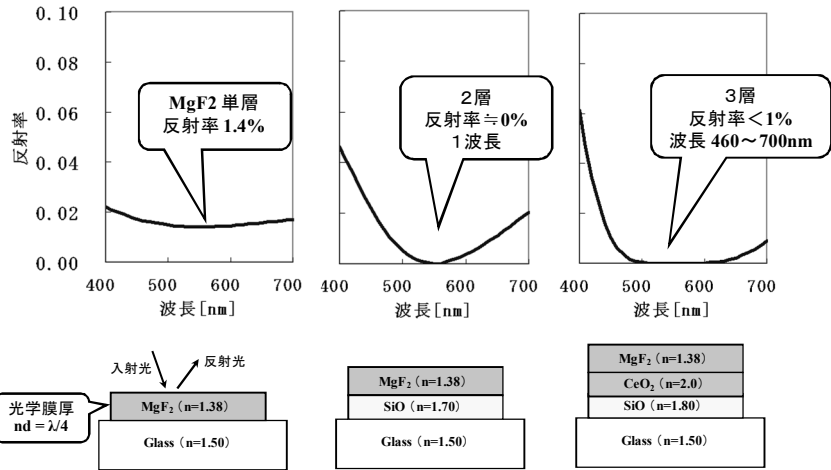


反射率の膜屈折率及び厚さ依存性
($n_0=1, n_2=1.5$)

基材の屈折率より小さい時
光学膜厚 $nd = \lambda/4$ で最小
基材の屈折率より大きい時
光学膜厚 $nd = \lambda/4$ で最大

n=1.2の透明・安定・無毒
の材料が存在しない
↓
多層膜を用いる

多層膜による反射防止

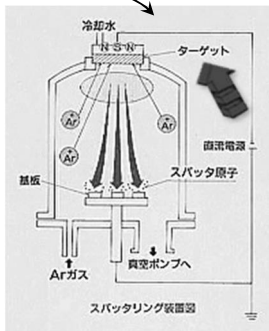


11

成膜方法

反射防止膜の主な成膜方法の分類

- 湿式法
 - 塗布法 — ロールコート、グラビアコート
 - ゾルゲル法 — スピニングコート、スプレー
- 乾式法
 - 真空蒸着法
 - スパッタ法
 - CVD法



サンヨー電子株式会社
ホームページより

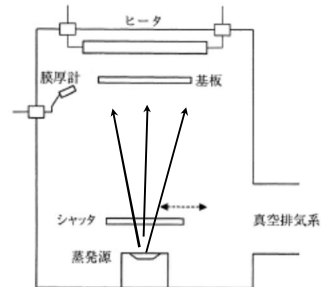


図18. 真空蒸着の概念図

12

多元スパッタ装置による光反射防止膜の作製例

光融合技術イノベーションセンター所有

多元スパッタ装置

Fraunhofer製DRM-400搭載、富士R&D社製PSOC400



開放装置としては国内唯一

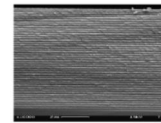
宇都宮大学地域共生研究開発センター、光融合技術イノベーションセンターホームページより

一般的には高周波電源

電源： 短形波パルス電源
 カソード： 丸型ダブルマグネトロン
 プロセス制御： 反応性ガス供給制御
 基板サイズ： Max φ20cm
 膜厚分布： ±3%

加工例

1. 光学分野
 - ・眼鏡用レンズへの各種コート
 - ・各種光学部品への多層膜
 - ・ルゲートフィルタの開発
 - ・傾斜材料の開発
2. 電子部品分野
 - ・Si₃N₄耐フッ酸膜
 - ・SiO₂高耐圧絶縁膜
 - ・AlN膜
 - ・強誘電体膜
3. 透明導電膜開発や各種センサー

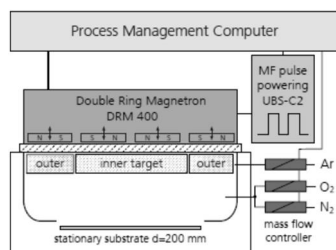


ルゲートフィルタ断面 SEM写真



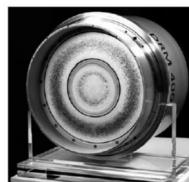
圧カセンサ

多元スパッタ装置の概略



多元スパッタ装置の概略図

直流パルススパッタ法はアーキング抑制目的に開発された



Double Ring Magnetron DRM 400

約 300
Max 12kW
(材料による)

ダブルリングターゲット

type of layer	material	Magnetron Sputtering Process
metals	Al, Cr, Cu	DC
alloys	Ni/Al, NiV7	DC
multilayer	CrNiCo/Cr	DC
compounds	Al ₂ O ₃ , AlN, SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , TiO ₂ , Ta ₂ O ₅ , Nb ₂ O ₅ , TaN	pulsed reactive, RF
ternary compounds	Si ₂ O ₃ N ₂ , Al ₂ O ₃ N ₂ , Si ₃ Ta ₂ O ₇	pulsed reactive
gradient compounds	SiO ₂ → Si ₃ O ₄ N ₂ → Si ₃ N ₄ Al ₂ O ₃ → Al ₂ O ₃ N ₂ → AlN SiO ₂ → Si ₃ Ta ₂ O ₇ → Ta ₂ O ₅	pulsed reactive
hybride materials	Si ₃ C ₂ O ₄ , Si ₃ C ₂ O ₄ N ₂ , Si ₃ Ti ₂ C ₂ O ₄ , Si ₃ C ₂ O ₄ H ₂	magPECVD

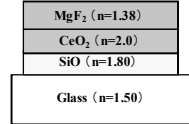
Fraunhofer研究所Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology(FEP) ホームページより

単一材料からの各種コート

一般的な光反射防止膜の構成

例) 可視域[波長 =400~700nm]の反射率R<1%
→ 3~5層(7層)

低屈折率、中間屈折率、高屈折率



ターゲット : Si

反応性スパッタリング

酸素導入 $\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$

窒素導入 $\text{Si} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$

ガスの切替のみによる作製可能性
パーティクル抑制、高速プロセス

SiO_xN_y 中間屈折率層の形成

SiO_xN_y

屈折率 $n = 1.45 (\text{SiO}_2) \sim 2.0 (\text{Si}_3\text{N}_4)$

期待
AR特性

→ $\text{SiO}_2/\text{SiO}_x\text{N}_y$ での計算反射率0%
高密着性、高バリア性

安全なガスのみ
MgF2スパッタではフッ素ガス
(毒性)を使用

Si系の材料による構成
ガラス成分に近い

耐擦傷性膜とし
ても期待

ガス(酸素、水蒸気)バリア材
として使用されている

15

反射防止膜の作製

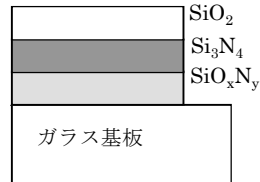
3層 : $\text{SiO}_2 / \text{Si}_3\text{N}_4 / \text{SiO}_x\text{N}_y$

SiO_xN_y : 導入ガス比を $\text{O}_2:\text{N}_2=10:90$

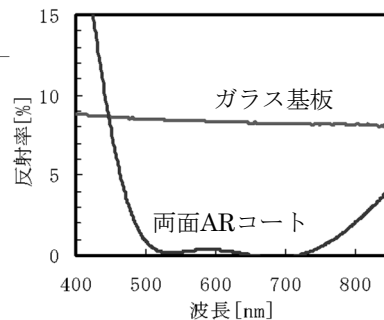
基板 : スライドガラス

両面での反射率R<1%

(波長 $\lambda=500\text{nm} \sim 760\text{nm}$)



SiO_xN_y による反射防止膜の構成図

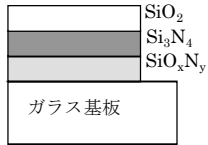


両面にARコートしたガラスの反射率
(測定値)

16

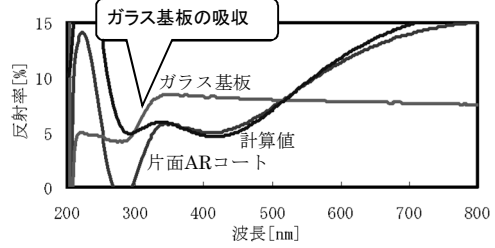
各帯域への反射防止膜の適用

透明領域
 SiO_2 波長 <200nm ~ 8 μm
 Si_3N_4 波長 320nm ~ 7 μm

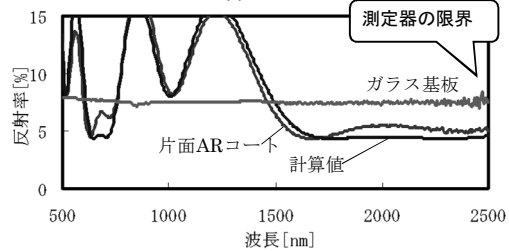


計算値と測定値の一致

$\text{SiO}_2, \text{Si}_3\text{N}_4$ の広透過域
 UV - VIS - IR



(a) 紫外域



(b) 近赤外域

片面にARコートしたガラスの反射率(測定値)

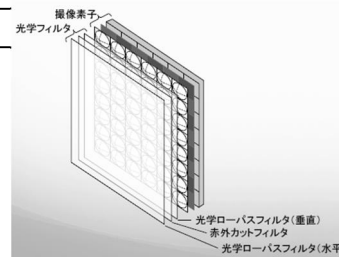
ローパスフィルタ

目的: 光像の高周波成分を抑制(低空間周波数成分を透過)

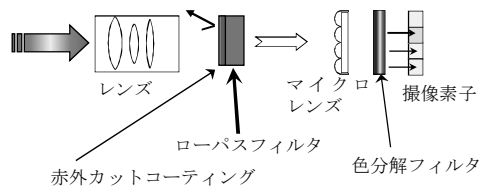
原理: 複屈折性を利用

効果: 偽信号や色モアレを抑制

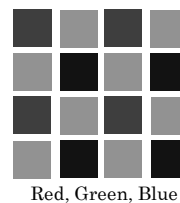
設置場所: 中間グレードのデジタルカメラ内、レンズと撮像素子(CCD)間



京都産業大 蚊野教授 資料「デジ
 カメ画像処理のしくみ」より



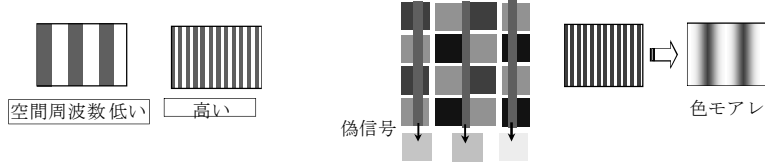
デジタルカメラ受光簡略図



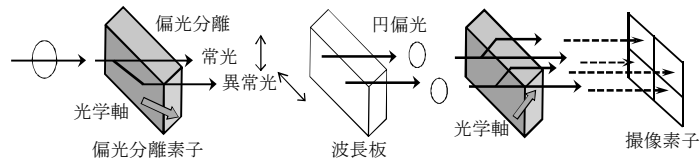
撮像素子(CCD:charge coupled devices)
 バイヤーマトリックス

空間周波数とローパスフィルタの構成

空間周波数：低い場合OK。
 高い場合NG。偽信号や偏り（モアレ）が発生



ローパスフィルタ：高空間周波数の光を分割し、モアレや偽信号を抑制
 入射光を分離させ、隣合う画素にも入射させる（計4箇所）



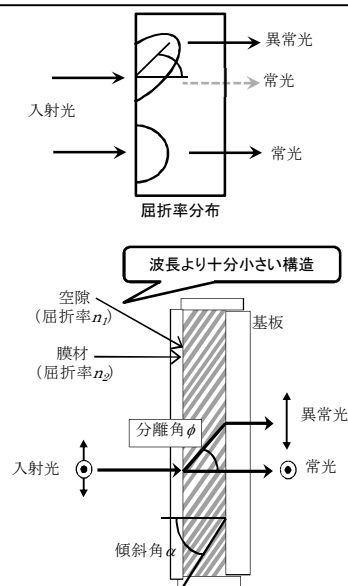
19

ローパスフィルタ用偏光分離膜の提案

偏光分離素子；光学異方性体
 傾いた光学軸が必要

現行；水晶（SiO₂結晶バルク）
 → 小偏光分離角、小型化の限界

偏光分離膜の提案
 光学異方性膜のメリット
 部品の小型化、軽量化、
 無加工(切断、研磨不要)、低コスト化
 要求：高異方性（大偏光分離角）
 傾いた光学軸
 透明（可視光域）
 薄膜化技術
 → 斜め配向異方性膜



20

斜め配向膜の作製

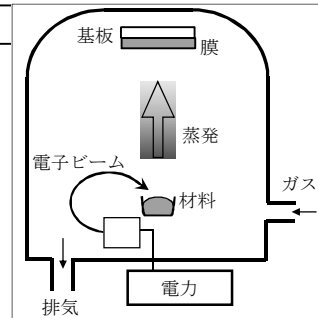
電子ビーム蒸着

電子線照射による加熱で材料を蒸発、基板上に堆積

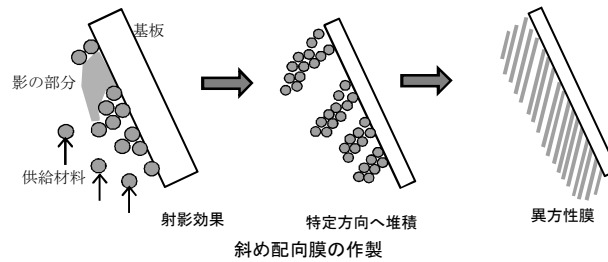
- ・材料の高温加熱が可能
- ・成膜の大面積化が可能

射影効果： 影の部分に材料が供給されず、特定の方向に構造が作られる

斜め配向： 基板を傾斜させ射影効果を発生、斜め配向膜を作製



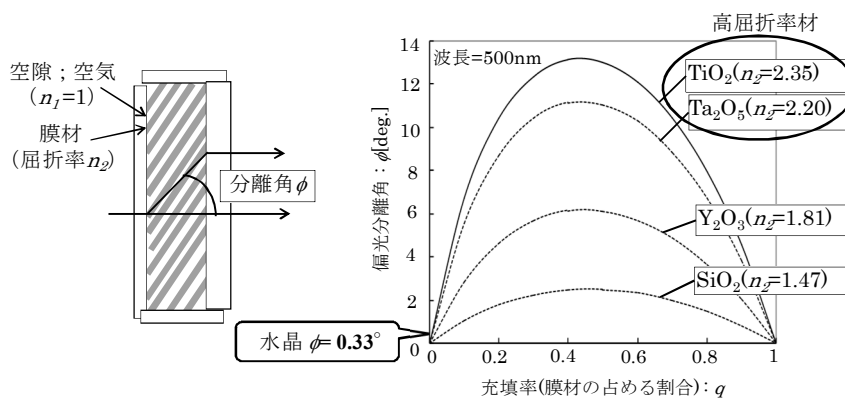
蒸着の概略図



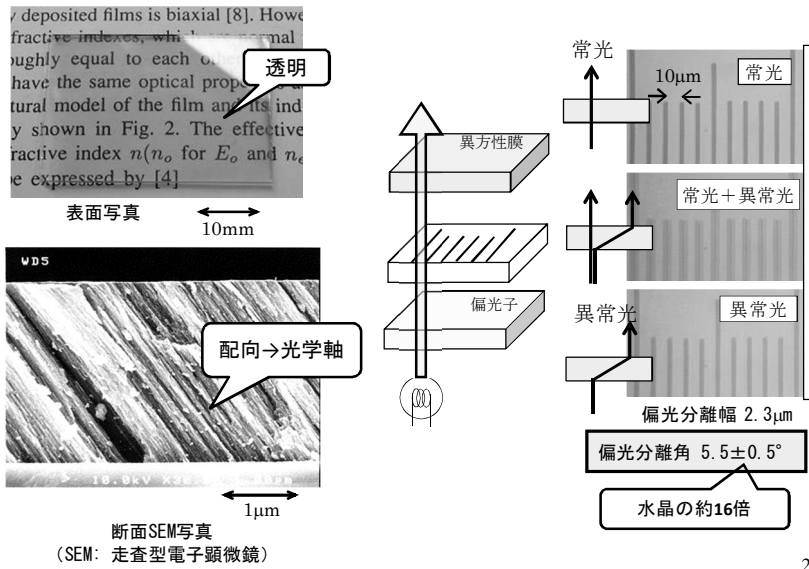
膜材料の選択

透明材： 可視域で透明

高屈折率： 高い異方性（大偏光分離角）と小さな素子を期待



作製結果:斜め蒸着法によるTa₂O₅異方性膜の作製



23

お問合せ先

宇都宮大学 地域共生研究開発センター
 電話: 028-689-6316, FAX: 028-689-6320
 E-mail: chiiki@miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp

光融合技術イノベーションセンター
 電話: 028-689-6316, FAX: 028-689-6320
 E-mail: optic@miya.jm.utsunomiya-u.ac.jp

工学部 産学官連携研究員
 室 幸市
 電話: 028-689-6331, FAX: 028-689-6320
 E-mail: muro@cc.utsunomiya-u.ac.jp

24