

Powłoki definiowane przez użytkownika i polaryzacyjny ray-tracing

Powłoki definiowane przez użytkownika oraz polaryzacyjny ray-tracing to ważne właściwości *LightTools*, umożliwiające modelowanie ogromnej różnorodności systemów oświetleniowych. Niniejszy artykuł prezentuje teorię dotyczącą pewnych wspólnych efektów dotyczących powłok i polaryzacji oraz kilka modeli przykładowych zrealizowanych za pomocą *LightTools*. Przedstawione zostały również modele i wyniki ich analizy na przykładach systemów ze świata rzeczywistego.

Powłoki definiowane przez użytkownika

LightTools posiada możliwość definiowania charakterystyk powłok złożonych z wielu cienkich warstw jako własność optyczną powierzchni. Pozwala to użytkownikowi na określenie charakterystyk odbiciowych i transmisyjnych powierzchni pokrytej powłoką jako parametrów ray-tracingu. Możliwymi parametrami tego typu są: długość fali, kąt padania oraz współrzędne X i Y na powierzchni. Współczynniki odbicia i transmisji powłoki mogą być zdefiniowane dla każdej z składowych wektora pola elektrycznego (s i p) z osobna lub jako średnie wartości tych współczynników dla składowych wektora pola elektrycznego.

Przykład 1: powłoka dichroiczna¹

Wielowarstwowa powłoka dichroiczna jest obecnie najczęściej stosowaną powłoką w przemyśle optycznym. Powłoki tego typu są wykorzystywane w elementach układu optycznego kamer i aparatów fotograficznych, projektorów multimedialnych, w wyposażeniu laboratoriów wytwarzających półprzewodniki oraz w wielu innych systemach, nie tylko systemach obrazowania. *LightTools* pozwala użytkownikowi określić charakterystyki powłoki w sposób graficzny (jak to pokazano na Rys. 1a), numerycznie na poziomie programu lub za pomocą pliku tekstowego ASCII.

Przykład szeregu powłok dichroicznych pokazano na Rys. 1b. Światło będące mieszaniną długości światła czerwonej, zielonej i niebieskiej pada na trzy płaskie powierzchnie o różnych powłokach

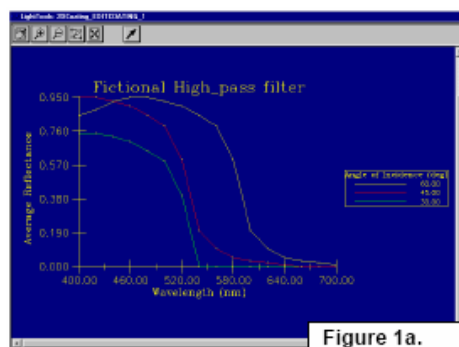


Figure 1a.
LightTools User-Defined Coating Interface

dichroicznych. Pierwsza z nich odbija światło niebieskie, natomiast przepuszcza czerwone i zielone. Druga – odbija światło zielone, natomiast przepuszcza czerwone. Ostatnia powierzchnia odbija światło czerwone.

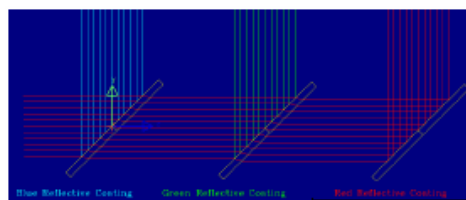


Figure 1b.
Dichroic Mirror

Przykład 2: Kostka światłodziela typu „X”

Powłoki dichroiczne analogiczne do tych przedstawionych uprzednio mogą zostać użyte do konstrukcji kostki światłodziela typu „X”. Jest to element, który łączy w sobie właściwości pryzmatu i zwykłej kostki światłodziela. Oddziela długości światła: czerwoną, zieloną i niebieską w ten sposób, że tworzą one wiązki biegnące w zupełnie różnych kierunkach. Jak to pokazano na Rys. 2, padająca wiązka światła białego zostaje rozdzielona na 3 wiązki: czerwoną, zieloną i niebieską.

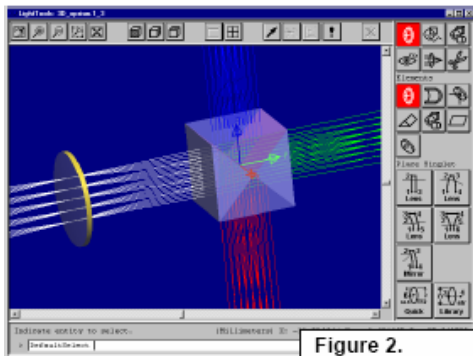


Figure 2.
Dichroic Coated
X-Prism

LightTools jest idealnym narzędziem do modelowania kostki światłdzielącej typu „X”, ponieważ zawiera wszystkie wymagane elementy i własności, które można stworzyć i przypisać danej powierzchni, oraz możliwość „wtopienia” jednego elementu w drugi.

Polaryzacyjny bieg promieni

LightTools posiada możliwość wyznaczania biegu promieni składających się na spolaryzowaną, niespolaryzowaną i częściowo spolaryzowaną wiązkę światła. Obsługiwane są również elementy polaryzujące i powłoki optyczne, których własności zależą od stopnia polaryzacji światła. Istnieją trzy sposoby na określenie początkowego stanu polaryzacji promienia: reprezentacja geometryczna w postaci elipsy, definicja w postaci wektora Jonesa lub w postaci wektora Stokesa.

Te trzy metody wyznaczające początkowy stan polaryzacji światła decydują o ogromnej elastyczności projektu i analizie układu optycznego. Wektor Jonesa może być używany dla światła całkowicie spolaryzowanego. Wektory Stokesa mogą służyć do analizy światła zarówno całkowicie jak i częściowo spolaryzowanego. Mogą one być łatwo zdefiniowane na podstawie danych eksperymentalnych. Reprezentacja geometryczna również może być używana dla światła całkowicie lub częściowo spolaryzowanego, a jej przewaga polega na niemalże namacalnym, geometrycznym wyobrażeniu stanu polaryzacji.

Specyfikacja elementów polaryzujących jest dokonywana za pomocą opcji Ray Amplitude (Amplituda Promienia). Do wyboru są następujące cechy elementów polaryzujących:

- Fresnel Loss (strata Fresnela) – użyte są równania Fresnela dla elementów wektora polaryzacji na powierzchni rozdzielającej ośrodki niepokrytej powłoką.
- Ideal Linear Polarizer (idealny polaryzator liniowy) – ze 100% wydajnością przepuszcza te elementy wektora polaryzacji, które są równoległe do jego osi.
- Ideal Linear Retarder (idealna liniowa płyta fazowa) – wprowadza różnicę dróg optycznych pomiędzy składnikami wektora polaryzacji.

- Jones Matrix (macierz Jonesa) – przypisuje zespoloną macierz (o wymiarach 2x2) powierzchni, która działa na wektory Jonesa promieni padających.
- Mueller Matrix (macierz Muellera) – przypisuje macierz (o wymiarach 4x4) powierzchni, która działa na wektory Stokesa promieni padających.
- Scattering Surfaces (powierzchnie rozpraszające) – stan polaryzacji promieni rozproszonych może zostać zdefiniowany dla każdej opcji amplitudy promienia.
- Quarter-Wave AR Coating (powłoka antyrefleksyjna o opóźnieniu fazowym $\lambda/4$) – przypisuje powierzchni właściwości powłoki refleksyjnej o opóźnieniu fazowym $\lambda/4$.
- User Defined Coating (powłoka zdefiniowana przez użytkownika) – przypisuje powierzchni powłoki o charakterystykach podanych przez użytkownika.

Przykład 3: skrzyżowany polaryzator liniowy

Dla światła naturalnego lub niespolaryzowanego, polaryzacja chwilowa zmienia się w sposób szybki i losowy. Idealny polaryzator liniowy jest elementem, który porządkuje stan polaryzacji i na wyjściu daje polaryzację liniową.

Oś przepuszczania (wskazana przez czerwone strzałki na Rys. 3) idealnego polaryzatora liniowego definiuje kierunek wektora pola elektrycznego fali świetlnej, który jest transmitowany bez strat (lub z niewielką stratą). Fala, której wektora pola elektrycznego nie pokrywa się z tym wektorem jest absorbowana lub wygaszana. Idealny polaryzator to taki, który jest całkowicie przezroczysty dla światła liniowo spolaryzowanego w kierunku osi przepuszczania oraz jest całkowicie nieprzezroczysty dla światła spolaryzowanego w kierunku prostopadłym do osi przepuszczania.

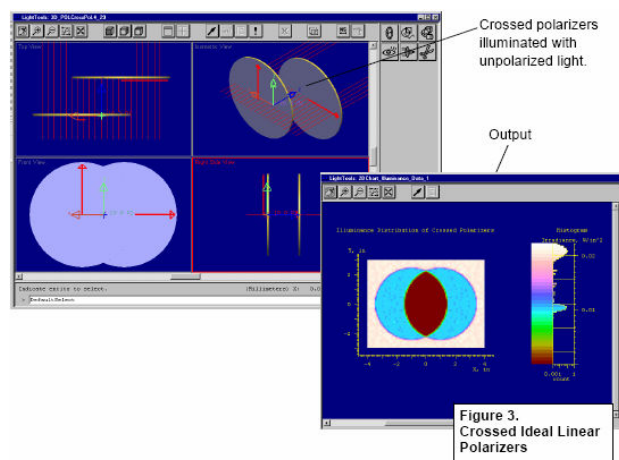


Figure 3.
Crossed Ideal Linear
Polarizers

Dla oświetlenia skolimowanego i niespolaryzowanego, dwa idealne polaryzatory liniowe, których osi przepuszczania wzajemnie

tworzą kąt 90 stopni (polaryzator skrzyżowany), zaabsorbują światło całkowicie (tak jak to pokazano na Rys. 3, w obszarze, gdzie oba polaryzatory nachodzą na siebie). W obrębie obszaru, który nie nachodzi na siebie, przepuszczane jest 50% światła. Poziomo spolaryzowane światło jest przedstawione w jednej części tego obszaru, a światło spolaryzowane pionowo – w drugiej.

**Przykład 4:
krzyż maltański**

Jak pokazano w poprzednim przykładzie, gdzie osi przepuszczania dwóch idealnych polaryzatorów liniowych są skrzyżowane, światło, którego składowa pola elektrycznego znajduje się pod kątem prostym do osi przepuszczania jest absorbowana lub wygaszana. Jednak dla wiązki rozbieżnej, wektory pola elektrycznego nie padają pod kątem prostym do osi polaryzatora skrzyżowanego.

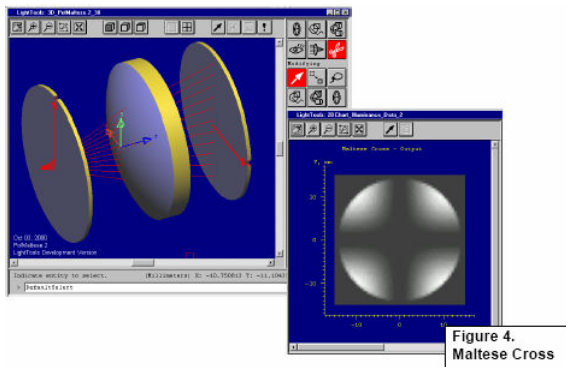


Figure 4. Maltese Cross

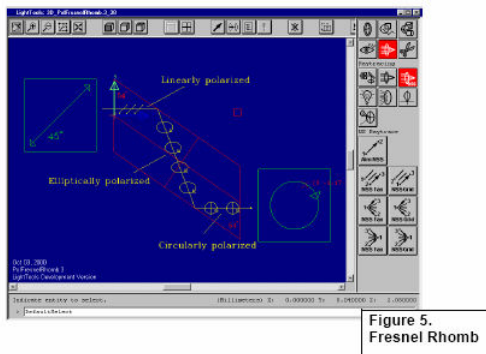


Figure 5. Fresnel Rhomb

W tym przypadku, światło, którego wektor pola elektrycznego leży w tej samej osi co oś przepuszczania jednego z polaryzatorów, a nie prostopadła do osi przepuszczania drugiego polaryzatora – zostanie całkowicie wygaszone. Światło, którego wektor pola elektrycznego nie znajduje się w linii do jednej z osi przepuszczania i nie jest prostopadły do drugiej – zostanie częściowo wygaszone. Część światła zostanie przepuszczona tak jak to pokazano na Rys. 4. Światło o największej jasności zostanie przepuszczone pod kątem 45 stopni względem obu osi przepuszczania polaryzatorów.

**Przykład 5:
Romb Fresnela²**

Metoda zmiany polaryzacji światła z liniowego w kołowo spolaryzowane za pomocą rombu Fresnela jest zaprezentowana na Rys. 5. W układzie tym istotnym elementem jest szklany pryzmat o kształcie rombu. Światło liniowo spolaryzowane, którego oś jest skierowana pod kątem 45 stopni do krawędzi przedniej powierzchni rombu pada na tę powierzchnię pod zerowym kątem (Rys. 5) Światło zostaje poddane dwóm całkowitym wewnętrznym odbiciom w obrębie pryzmatu i wychodzi z niego również pod kątem 0 stopni. Przy każdym wewnętrznym odbiciu wprowadzana jest różnica faz Δ . Ta różnica faz jest równa $\pi/4$ dla kąta $\theta = 54$ stopni w przypadku szkła o współczynniku załamania 1.5, zgodnie ze wzorem:

$$\tan \frac{\Delta}{2} = \frac{\cos \theta \sqrt{\sin^2 \theta - n^2}}{\sin^2 \theta}$$

Całkowitą różnicę faz równą $\pi/2$ uzyskuje się po dwóch wewnętrznych odbiciach; w efekcie światło wychodzące z pryzmatu jest spolaryzowane kołowo.

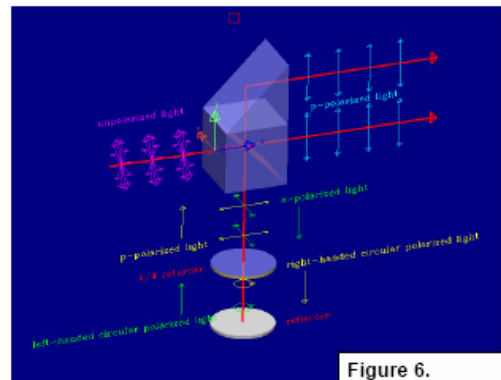


Figure 6. Polarization Beam Splitter³

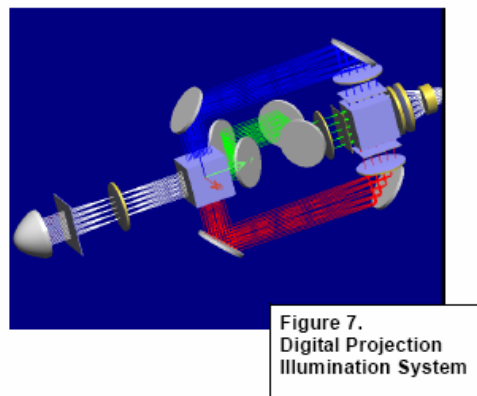


Figure 7. Digital Projection Illumination System

**Przykład 6:
polaryzacyjna kostka światłodzieląca**

Polaryzacyjna kostka światłodzieląca jest klasycznym przykładem uzyskania wiązki o

pożądanym stanie polaryzacji i maksymalnej energii. Na Rys. 6 pokazano niespolaryzowaną wiązkę światła padająca na kostkę, która przepuszcza liniowy stan polaryzacji p , natomiast odbija liniowy stan polaryzacji p .

Stan polaryzacji liniowej s przechodzi przez ćwierćfalówkę, która zmienia fazę o $\pi/4$ i tworzy wiązkę o spolaryzowaną kołowo prawoskrętnie. Następnie wiązka ta odbija się od zwierciadła, które z kolei zmienia fazę o π , co w efekcie daje kołowy lewoskrętny stan polaryzacji. Po odbiciu od zwierciadła światło ponownie przechodzi przez ćwierćfalówkę (następuje kolejne przesunięcie fazowe o $\pi/4$), która tworzy stan polaryzacji liniowej p . Ostatecznie wiązka o takim stanie polaryzacji liniowej przechodzi przez kostkę światłodzielącą (Rys. 6). W ten sposób z wiązki niespolaryzowanej udało się otrzymać wiązkę spolaryzowaną liniowo bez strat energetycznych (w rzeczywistości straty te istnieją, lecz są stosunkowo niewielkie).

Problemy światła rzeczywistego

Wymienione w niniejszym artykule możliwości *LightTools* mogą być wykorzystane przy projektowaniu i analizie bardzo złożonych systemów oświetlenia, jak na przykład układy projekcyjne projektorów multimedialnych (Rys. 6) lub układy podświetlające wyświetlacze panelowe (Rys. 8).

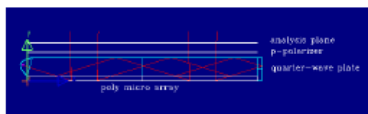
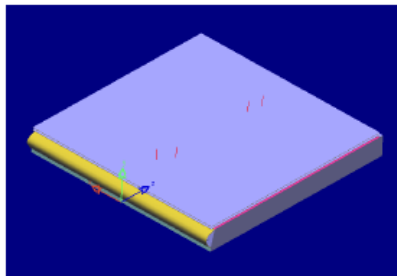


Figure 8.
Flat Panel Display
Backlight

W układzie projekcyjnym mierzone źródło światła może oświetlać złożoną macierz soczewek, która, w

połączeniu z dichroiczną kostką światłodzielącą typu „X”, tworzy jednorodny rozkład światła czerwonego, zielonego i niebieskiego na trzech oddzielnych wyświetlaczach ciekłokrystalicznych (LCD). Trzy oddzielne wiązki są następnie mieszane za pomocą kolejnej kostki światłodzielącej typu „X” i skupiane na żrenicy układu soczewek odwzorowujących.

Wyświetlacze LCD mogą być opisane za pomocą macierzy Jonesa lub Muellera a następnie umieszczone w krzyżu polaryzacyjnym w celu analizy kontrastu.

Przykład układu podświetlającego wyświetlacz panelowy został zaprezentowany na Rys. 8. Układ ten cechuje bardzo złożona powłoka wielowarstwowa, która przepuszcza stan polaryzacji liniowej p , a odbija stan polaryzacji liniowej s . Światło o polaryzacji p przechodzące przez powłokę, odbija się od dolnej powierzchni układu podświetlającego i opuszcza układ. Dolna powierzchnia zbudowana jest z macierzy małych pryzmatów o rozmiarach rzędu 20 mikrometrów. *LightTools* posiada wbudowane makro, które pozwala na łatwe tworzenie tego typu macierzy. Projektowanie tego typu układów podświetlających za pomocą *LightTools* jest naprawdę bardzo proste! Światło o stanie polaryzacji s podlega zmianie stanu polaryzacji na stan p za pomocą układu złożonego z włókien optycznych, ćwierćfalówki i zwierciadła. Zasada działania takiego układu została przedstawiona w przykładzie 6. Zmiana stanu polaryzacji umożliwia przejście przez powłokę dichroiczną, następnie przez macierz mikropryzmatów oraz wyjście z układu podświetlającego. *LightTools* umożliwia kompletną analizę układów tego typu łącznie z rozciągłym źródłem światła i efektami polaryzacyjnymi. Rys. 9 przedstawia natężenie oświetlenia wyświetlacza panelowego.

Literatura

1. Fowels, Grant, *Introduction to Modern Optics* (Dover, New York, 1975), pp. 22-31.
2. Fowels, Grant, *Introduction to Modern Optics* (Dover, New York, 1975), pp. 51-52.
3. Oishi, Noriji, Mitsubishi Rayon Co., Ltd., Tokyo, Japan. *Polarization Forming Optical Device and Polarization Beam Splitter*. 1992. U.S. Pat. 5,124,841.

O P T I C A L

R E S E A R C H

A S S O C I A T E S

3280 East Foothill Boulevard, Pasadena, California 91107
Phone: (626) 795-9101, FAX: (626) 795-0184
E-mail: service@opticalres.com, Web Site: <http://www.opticalres.com>

Wylączny dystrybutor na Polskę:



„LEDIKO Walendowski i Wilanowski” Sp.J.

ul. Klecińska 125,
54-413 Wrocław

Tel.: 071 798 57 85 Fax: 071 798 57 85

<http://www.lediko.com>, e-mail: optyka@lediko.com