解説

光干渉繊維“MORPHOTEX®”(モルフォテックス®)

吉村三枝・庵原耕一

田畑 洋・清水 進

1. 緒 言

感性繊維に関する研究において、深みのある高澄色や艶やかな鮮明性の追求は、繊維業界によって永遠のテーマである。従来の染色技術によらない光学物理現象を利用した発色は、“構造的発色”と総称され、自然界生物に多く存在し、南米産のモルフォ蝶の発色原理もその一つである。ここでは、モルフォ蝶の発色原理を探究し、その薄膜干渉発色を利用して開発された光干渉繊維MORPHOTEX®(モルフォテックス®)を紹介する。

2. 発色原理

鮮やかなブルーに輝き、かつ見る角度により色相が変化するモルフォ蝶の翅(図1)には、ブルーに発色する色素は存在しない。しかし、整然と配列された鱗粉断面(図2,3)には、リッジの繰り返し方向をx軸、奥行き方向をy軸、ラメラの積層構造をz軸とする2層成分の積層構造が存在する。屈折率1.4~1.5のラメラ層(タンパク質:成分ククラ)と屈折率1の空気層が、各々 0.08μ 、 $0.14\sim 0.16\mu$ の厚みで交互積層構造を形成し、薄膜干渉ブルー色を発

図1 スルコウスギーモルフォ蝶(♂)

色する。この蝶の羽の構造を光学モデル¹⁾に、2つの屈折率の異なるポリマーの積層構造を繊維断面内にもつ構造発色繊維の完成をめざして研究に着手した。

薄膜干渉理論^{2,3)}から、発色(反射)波長およびその強度は以下の関係にある(図4)。つまり波長 λ は、入射角ならびに光学的膜厚 nd により変化し、またその発色強度は2種の屈折率差が大きい程高い。そして、両成分の光学厚みが、 $n_1d_1=n_2d_2=\lambda/4$ の時、干渉効果は極大となる。理

吉村三枝

庵原耕一

田畑 洋

清水 進

Structurally Colored Fibers “MORPHOTEX®”

著者紹介 MIE YOSHIMURA*, KOICHI IOHARA**, SUSUMU SHIMIZU*** and HIROSHI TABATA****

*Fibers Research & Development Department, Teijin Co., Ltd.

帝人株式会社 繊維技術開発部

**Fibers Research & Development Department, Teijin Co., Ltd.

帝人株式会社 繊維技術開発部 工学博士

***Technical Center, Engineering Department, Tanaka Kikinzoku Kogyo K. K.

田中貴金属工業株式会社 技術開発センター 技術本部 主席技術員

****Material Research Laboratory, Nissan Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.

日産自動車株式会社 総合研究所 材料研究所 シニアリサーチャー

吉村氏は、溶融紡糸技術開発を専門とされている。庵原氏は、繊維構造物性、溶融紡糸を専門とされている。清水氏は、金属加工を専門とされている。田畑氏は、無機化学、錯塩化学、バイオミメティクス、物理光学を専門とされ、著書には、「新素材が車を変える」(共著、工業出版社)がある。趣味は、テニス、山登りとのこと。

本稿では、精密コンジュゲート技術により完成した構造発色繊維について述べていただいた。

図2 鱗粉断面SEM写真

図3 鱗粉断面模式図

反射波長 $\lambda = 2(n_1 d_1 + n_2 d_2) \cos \theta_1$

反射率 $R = (n_1^2 - n_2^2) / (n_1^2 + n_2^2)$

n : 屈折率, d : 層厚, θ_1 : 入射角

図4 薄膜干渉理論

論詳細については、参考文献を参照頂きたい。

3. 積層構造設計

発色波長と発色強度の設計に関して、層の屈折率と厚み、積層数の関係について、光学計算を行った^{1,4)}。層数の増加は、図5-1に示す通り、反射率すなわち発色強度を大きくする。ラメラ空気層のように屈折率差が大きい場合、理論的には層数が各々10層でも反射強度は飽和に達することがわかる。また、物質層の屈折率の増加により、空気層との屈折率差を増加した場合にも、反射率は増加する(図5-2)。さらに物質層の厚みを変えた場合は、モルフォ蝶ラメラの厚み $0.08\mu\text{m}$ で発色する青色 480nm を中心に、紫外 350nm ～近赤外 730nm まで波長が変化する(図5-3)。したがって、色の混ざりや濁りのない鮮明な発色を得るためには、厚さ $0.1\mu\text{m}$ 以下の多層膜の厚みを精密に制御する技術が重要である。ここで、屈折率差が 0.1 の2種類の物質層を各々50層交互積層した場合を仮定し、厚さが $0.085\mu\text{m}$ に制御された積層体と、積層厚方向で $0.08\sim 0.09\mu\text{m}$ にばらついた不均一積層体の反射率カーブの比較を図6に示す。後者のような不均一積層構造では、ピークがブロードであり、鮮明色が得られないことがわかる。

また、3元設計の知見として、積層構造の構成と高屈折層との組み合わせにより、少ない積層数でも、反射強度増加が可能であることが示唆される(図7)。

4. 繊維化技術

精密な積層構造形成には、特殊な精密コンジュゲート口金の設計とポリマーの選択・最適化が重要な課題である。高い干渉発色を実現するためには、2種のポリマーの屈折率差が大きいこと、および $0.1\mu\text{m}$ 以下の多層薄膜を形成させるためには、ポリマーの親和性や適正粘度、また口金吐出後の繊維構造発現特性の類似性などの条件を満たす必要がある。

表1に記載のポリマーについて、PEN-PMMA, PC-PMMA, PEN-Ny, Pst-PMMA, PE-PET, PET-PMPなど種々検討し、モルフォテックス[®]は、両ポリマーの界面エネルギー・粘度を最適化することにより、PET-Nyの組み合わせからなる薄膜積層構造を形成することができた⁵⁾。

5. モルフォテックス[®]の特徴

銘柄は、単糸 $\text{dtex}=10, 3.7\text{dtex}$ 、色調は紫・青・緑・赤の4色である。 3.7dtex は、柔らかさと透明発色を生かした衣料用繊維や粒度の細かい光輝剤用カットファイバーとして期待される。表2の繊維断面写真のように、発色強度に比例する積層長は 10dtex と同等レベルに保ち、

ミナミ蝶鱗粉構造諸物性

特性	ラメラ	空気層
屈折率	1.5	1
厚み μm	0.08	0.14~0.16
層数	6	7

—変更パラメーター—

- 1) 層数 $N=2\sim10$
- 2) ラメラ屈折率 $=1.1\sim1.8$
- 3) ラメラ層厚 $=0.04\sim0.16\mu$

1) 層数の依存性

2) 物質層 (ラメラ) の屈折率依存性

3) 物質層厚の依存性

図5 2元薄膜モデル光学計算

層厚制御依存性

図6 層厚制御依存性

30層	高屈折率層 (発色ベース)	30層
光学計算		
層構成		層厚80nm
30層のみ		反射率 40%
30層+高濃度1:02		86%

図7

<車体塗装>

Morphotone[®]

<カーシート>

Morphotex[®]

図8 日産シルビアリエッタ

99.10東京モーターショー参考出展

表1 ポリマー物性

<高屈折率ポリマー>

ポリマー	屈折率	Δn	Tg(°C)	熔融温度(°C)
PEN	1.63	0.49	121	270
PC	1.59	0.2	145	280
PSt	1.59	0.19	100	240
PET	1.58	0.22	69	260

<低屈折率ポリマー>

ポリマー	屈折率	Δn	Tg(°C)	熔融温度(°C)
Ny	1.53	0.08	40	260
PMMA	1.49	~0	105	180
ポリメチルペンテン	1.46		80	240
フッ素系PMMA	1.4			160

表2 Morphotex[®]物性

色	波長 nm	単繊度 dtex/f	強度 cN/dtex	伸度 %	乾熱収縮 %(150°C)
紫	430	10	3.2	35	3
青	480	10	3.4	40	3
緑	520	10	3.5	45	3
赤	630	10	3.5	50	3
赤外	~1000	10	3.5	50	3
細dtex緑	520	3.7	4.1	30	4
細dtex紫	430	3.7	4.2	25	4

3.7dtex緑

10dtex緑

サンプル	断面短軸	積層長軸	発色強度	積層比率
10dtex緑	16 μ	37 μ	S t	28%
3.7dtex緑	10 μ	29 μ	S t 同等	57%

かつ保護層を減少させることにより、発色強度を下げずに細繊度化に成功した。

6. 用途開発状況

光干渉繊維の主な用途としてフィラメント使いでは、カーシート・ウェディングドレス・ロゴ刺繍糸・家電用テキスタイルなどの広い分野での適用が考えられる。特に、新しい質感・外観を生かした商品開発が注目される。また、もう一つの有力ゾーンである塗装分野(モルフォトーン[®])では、自動車車体塗装・内装部品塗装・人工皮革へのコーティング、さらに、漆器製品の新規光輝剤などへの適用が興味深い。

塗装では、低屈折率ポリマーをマトリックスとする塗料やコーティング加工において、繊維断面からの散乱光を抑制して、鮮明や干渉色の表現が可能である。

7. まとめと今後の展開

モルフォテックスは澄んだ色彩と透明感、見る角度により色相が変化する特性をもつ。精密断面設計思想の具体化は、光学機能サイズまで可能になったことを意味し、断面形成の多元ポリマー化および複雑化により、今後の繊維の新しい方向性を示唆するものである。

なお、本繊維は、日産自動車株式会社、田中貴金属工業株式会社、帝人株式会社の共同研究によるものである。

参考文献

- 1) H. Tabata, K. Kumazawa, M. Funakawa, J. Takimoto, M. Akimoto, *Optical Review*, 3(2), 139 (1996).
- 2) 筒井俊正ら共著, 応用光学概論, 金原出版(株)発行
- 3) J. A. Radford, T. Alfrey, Jr. and W. J. Schrenk, *Polymer Engineering and Science*, 13(3), 216(1973).
- 4) 特許公報2890984号
- 5) PCT WO98/046815