

СТРУКТУРА И ЦВЯТ В ДИЗАЙНА НА ТЕКСТИЛ И ПОВЪРХНОСТИ: ОТ НАНОСТРУКТУРИ ДО МАКРОСТРУКТУРИ

Дафна СТОИЛКОВА

Национална художествена академия - София, Факултет за приложни изкуства,

Катедра Текстил - изкуство и дизайн

Бул. Г. М. Димитров 100, София 1700, България

e-mail: dafna.stoilkova@nha.bg

РЕЗЮМЕ

Цветът е съществен компонент на дизайна на почти всички произведения от човека продукти. Създаването на цветност в текстила и повърхностите традиционно става чрез прибавяне пигменти и багрила, а в някои случаи чрез обезцветяване. Някои от пигментите, багрилата, обезцветяващите вещества и спомагателни материали са токсични. Индустриалните процеси на оцветяване могат да бъдат вредни както за участващите в процеса хора, така и за околната среда. Цветовете, постигнати чрез оцветители, често са неустойчиви във времето, което се отразява върху циклите на производство и потребление на текстилни изделия.

Възможно ли е да се постигне цвят без пигменти и багрила? В природата редица цветове се дължат не на пигменти, а на нано- и микроструктурирането на материалите. Примери откриваме у редица насекоми като пеперуди и бръмбари, растения, иризиращи субстанции като опали, кристали, перли и т.н.

Днес този тип нано- и микроструктури са основа на редица практически изследвания в сферата на нанотехнологиите, целящи да създадат нови методи за трайно структурно оцветяване на текстил и повърхности. Идеята е чрез структуриране на самите изграждащи текстила материали или чрез наноструктурирани покрития върху текстил да се постигнат методи за екологично устойчиво оцветяване.

Терминът „структурно оцветяване“ означава създаването на разнообразни цветове и оптични ефекти на видимо ниво чрез невидими микро- и наноструктури. Интересна е интерпретацията на израза „структурно оцветяване“ и в друг аспект: създаване на оптичен ефект, наподобяващ иризация, чрез съчетаване на пигментно оцветени елементи и видими макроструктури. Такъв тип визуални ефекти произлизат от техники като лентикулярен печат. Днес технологията за 3D принтиране предоставя възможност за добавяне на макроструктури върху традиционен текстил с цел постигане на интригуваща естетика чрез привличащи погледа оптични ефекти.

Този доклад цели чрез преглед на актуални разработки за структурно създаване на цвят от нанониво до макрониво да анализира функционални и естетически аспекти на взаимоотношението между цвят и структура, които вдъхновяват нови идеи и методи за дизайн на текстил и повърхности.

STRUCTURE AND COLOUR IN THE DESIGN OF TEXTILES AND SURFACES: FROM NANOSTRUCTURES TO MACROSTRUCTURES

Dafna STOILKOVA

National Academy of Art, Faculty of Applied Art, Textile Art and Design Department
100 G. M. Dimitrov Blvd., 1700 Sofia, Bulgaria
e-mail: dafna.stoilkova@nha.bg

ABSTRACT

Colour is an essential component of the design of almost all man-made products. The creation of colour in textiles and surfaces has traditionally been achieved by the addition of pigments and dyes, and in some cases by decolourisation. Some of the pigments, dyes, discolouring agents and auxiliary materials are toxic. Industrial dyeing processes can be harmful to both the people involved and the environment. Colours achieved through dyes are often unsustainable over time, affecting the production and consumption cycles of textile products.

Is it possible to achieve colour without pigments and dyes? In nature, many colours are due not to pigments but to the nano- and micro-structuring of the materials. Examples are found in many insects such as butterflies and beetles, plants, iridescent substances such as opals, crystals, pearls, etc.

Today, this type of nano- and micro-structures are the basis of a number of practical studies in the field of nano-technology, aiming to create new methods for permanent structural colouring of textiles and surfaces. The idea is to achieve methods for environmentally sustainable colouring by structuring the textile building materials themselves or by nano-structured coatings on textiles.

The term “structural colouring” means the creation of a variety of colours and optical effects at a visible level through invisible micro- and nano-structures. Another interesting interpretation of the term “structural colouring” is the creation of an optical effect resembling iridescence by combining pigment-coloured elements and visible macro-structures. This type of visual effect comes from techniques such as lenticular printing. Today, 3D printing technology allows for the addition of macro-structures to traditional textiles in order to achieve intriguing aesthetics through eye-catching optical effects.

This paper aims, through a review of recent developments for structural colour creation from the nano-level to the macro-level, to analyse functional and aesthetic aspects of the relationship between colour and structure that inspire new ideas and methods for textile and surface design.

1. Въведение

Цветовете, един от най-забележителните феномени в нашия свят, възникват чрез взаимодействието между материя и светлина, а възприятието им включва и зрител. [1] Тази система е зависима от много обстоятелства. Когато няма светлина, материята продължава да съществува, а цветовете изчезват. Когато има светлина и материя, съществуват много цветове, някои от които са видими за човека, а друга част остава непознаваема за сетивния ни апарат. Цветовете, достъпни за нас, обхващат всеки един аспект от живота ни и оказват влияние върху световъзприятието ни, а оттам и върху начина, по който мислим и се чувстваме. В дизайнната работата с цвят е метод както за постигане на естетика, така и на функционалност. В изкуството често цветът играе ключова роля, за да въздейства върху сетивността на зрителя. Както творецът, така и зрителят биват провокирани от емоционалното въздействие на цвета и други оптични феномени. Сякаш интуитивното усещане, че тези феномени са само игра на светлина и материя, е начин човек да се свърже на по-дълбоко ниво както с външния, така и с вътрешния си невидим свят. [1]

В природата цветовете се създават посредством пигменти и структури. Някои автори класифицират като източник на цвят и биолуминесценцията. [2]

1.1. Пигменти и оцветители

Пигментът се дефинира като „вещество, което изглежда в определен цвят, защото избирателно поглъща светлина с определена дължина на вълната.“ [3] От физиката знаем, че този принцип се отнася до всеки цвят, който виждаме. Какво прави пигментите по-различни от всички други цветни вещества? „Въпреки че много материали притежават това свойство, пигментите с практическо приложение са стабилни при нормални температури и имат висока сила на оцветяване, така че е необходимо само малко количество, за да се види цветът, когато се използва върху предмети или се смесва с носител.“ [3]

Цветът на пигментите се дължи на формата на молекулата им, която определя още на атомно равнище начина, по който те поглъщат и пропускат определени светлинни вълни. Този

механизъм на взаимодействие със светлината определя техния видим цвят. „Молекулите на боята или оцветителя поглъщат определени честоти и отразяват обратно или отразяват други честоти до вашето око.“ [4] Пигментите, както и да бъдат подредени в органична или неорганична материя под въздействието на природни механизми, запазват формата, структурата на молекулата си, която определя свойството да бъдат възприемани от човешкото око в определен цвят. Това, което прави едно вещество подходящо да бъде пигмент, е стабилността на молекулата му, която позволява тя да бъде пренасяна от едно място на друго, запазвайки свойството си да бъде видима в определен цвят. Това важи и при нанасянето на пигмента върху или прибавянето му към създадени от човека материали.

Аналогичен е механизмът на създаване на цвят чрез багрила. В статията „Структура и свойства на оцветители и пигменти“ [5] авторите Ашок Кумар и колегия дефинират основните разлики между пигменти и оцветители по следния начин:

„Както багрилата, така и пигментите изглеждат оцветени в резултат на поглъщането на някои дължини на вълните на светлината в по-голяма степен от други.“ [5] И при пигментите, и при багрилата с течение на времето може да се забележи промяна в цвета, дължаща се на промяна в химичния им състав под въздействие на външни фактори като светлина, топлина, въздух, влага и т.н. „Основната разлика между багрилата и пигментите е, че размерът на частиците на пигментите е много по-голям в сравнение с багрилата. Поради този малък размер на частиците багрилата не са устойчиви на ултравиолетовите лъчи, докато пигментите са устойчиви на ултравиолетовите лъчи.“ [5] Друга основна разлика е начинът на прибавяне на пигменти и багрила към даден материал: „Багрилата, след като се разтворят в течност, се абсорбират върху материала, докато пигментите правят суспензия с течност, която се свързва с повърхността на материала.“ [5] Докато багрилата са водоразтворими, което ги прави подходящи за багрение на текстил, то пигментите най-често са водонеразтворими и нанасянето им изисква допълнителни вещества - свързватели, пълнители и др.

Общото между пигментите и оцветителите е, че те са вещества под формата на молекули и самата структура на тези молекули определя отношението им със светлината, а оттам - и цвета им. По този начин създаването от тях цветовете също са структурни, което важи за всяко вещество в материалния свят, но цветът им е обвързан с формата на самата молекула. Цветът на тези молекули е до голяма степен независим от структурирането им на следващи равнища, т.е. как те са разположени в живата материя или как ще бъдат интегрирани в или пренесени върху създадени от човека материали. Съдържанието на такива молекули в природни и създадени от човека материи създава цветност у даденото вещество. По този начин собствената молекулна структура на пигментите и оцветителите ги прави надеждни и лесно приложими към много материали, в това число текстила и повърхностите.

1.2. Структурен цвят

За разлика от пигментите, при които структурата на молекулата създава цвета, структурният цвят се поражда от разнообразни структури на микро- и нанониво. По този начин вещества, които в състава си нямат пигментни молекули, например целулоза, могат да придобият различни цветове в зависимост от това как са структурирани на микро- или нанониво.

Една от добре формулираните дефиниции е дадена от Кристина Луиджи: „Структурните цветове, за разлика от тези, които се получават от пигменти или оцветители, възникват в резултат на физическото взаимодействие на светлината с биологични наноструктури.“ [6, р. 43] Структурните цветове са „създадени от микро- или наноструктури, и са ярки и ослепителни“. [2] Докато цветовете, постигнати с пигменти и оцветители, могат да бъдат много наситени и ярки, те не са брилянтни, блестящи по начина, по който структурните цветове са. Яркостта и брилянтността на вторите се дължат на взаимодействието им със светлината, която е по-различна от взаимодействието на пигментите: „Пигментният цвят се получава от селективното поглъщане на светлината от електроните на пигментите, докато структурният цвят е резултат от селективното отразяване

не на светлината чрез интерференция, дифракция и разсейване.“ [7] Именно отразяването на светлината поражда специфичните за структурните цветове ефекти като иризация, перлен блясък, метален блясък.

Физическата форма на структурата се характеризира чрез пространствените отношения между изграждащите компоненти, пропорциите им, разположението им един спрямо друг, отстоянията помежду им. Тази форма създава условия за отразяване и пропускане на различните дължини на светлинните вълни, което е определящо цвета. Поради тази причина структурните цветове не се променят с времето, докато самата структура не бъде разрушена. Структурно оцветена органична материя запазва цвета си дори след като вече не е жива. Например екземпляри на плодовете на африканското растение „мраморни зрънца“ (анг. marble berry, лат. *Pollia condensata*, *Фигура 1*), откъснати преди повече от 100 години, и до ден днешен са в ярко син цвят. [6]



Фигура 1 „Мраморни зрънца“ (*Pollia condensata*).

Синият цвят на плодчетата се дължи на микроструктурата на повърхността им.

Фотография: Juliano Costa; Източник:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pollia.jpg>

В природата цветът често е комплексно получен чрез съчетаване на пигментация и структурно оцветяване.

1.2.1. Иризация

Частен случай на структурните цветове са иризиращите. „Иризацията е визуална характеристика на повърхности, които променят цвета си в зависимост от ъгъла на наблюдение. Терминът произхожда от латинското и гръцкото “ирис”, което означава дъга, и се отнася за гръцката богиня Ирис, която е олицетворение на дъгата и пратеник на боговете (Barnhart & Steinmetz 1988).“ [8 p. S115]

Самите иризиращи повърхности не се променят. Променя се пространственото отношение наблюдател - обект, а чрез него - и ъгълът, под който попадащата върху иризираща повърхност светлина се отразява към окото на зрителя. По този начин наблюдателят възприема различни цветове, породени от различните страни на една и съща иризираща структура.

„Иризацията е явление, което е завладявало умовете на хората през вековете: от Аристотел (350 г. пр.н.е., английски превод на *Historia Animalium*, 1965 г.), Нютон (1730 г., ново издание 1979 г.) и Дарвин (1859 г., 1871 г.) до съвременни учени, художници и преподаватели в различни области.“ [9]

Иризацията завладява съзнанието, поставяйки под въпрос какво значат понятия като пасивно и активно, статично и динамично. „Активността“ на иризиращи структурни цветове се създава чрез интеракция обект - субект. Подобно на кинофилм, който е статичен, когато лентата не се движи, цветовете на иризиращата структура също са статични. Динамиката на цвета се произвежда активно във възприятието на зрителя или чрез собственото му движение, или чрез движението на иризиращия обект. „Активната“ промяна на цвета съществува само в моментите на интеракция, разкривайки пълния цветови потенциал.

Иризацията не може да се класифицира като оптична илюзия, тъй като обектът действително проявява различни цветове. Илюзията се състои само в това, че тези цветове сякаш „оживяват“, задвижвани от невидима вътрешна сила. В известен смисъл такава сила наистина съществува: тя е „магическата“ микро- или

наноструктура на тези цветове, която чрез своята същност разкрива многоспектрни пространства, приканвайки зрителя да погледне навътре в самия обект и същевременно в себе си.

1.2.1.1. Функционалност на иризиращите цветове

Природата е създала най-различни механизми за активна промяна на цвета на живите организми в съответствие с околните фактори. Например при представители на семейство главоноги - октоподи, калмари и сепии - тялото мигновено може да смени окраската си посредством промяна на формата на дермални клетки, съдържащи пигменти. [10] Друга възможност за промяна на цвета се среща при тъкани, съдържащи иризиращи микро- и наноструктури. В някои случаи организмите активно променят цвета си чрез комбинирана промяна на клетки, съдържащи пигменти и на клетки, съдържащи иризиращи структури. В други случаи промяната на цвета е пасивна: иризиращи структури, които не променят формата си, като криле на пеперуди и пера на птици, създават илюзия за динамично променящ се цвят, когато са кинетично активирани чрез движение.

Статията „Иризация: функционална перспектива“ [8] систематизира редица изследвания на този феномен в областта на флората и фауната, включваща многобройни видове бръмбари, пеперуди и други насекоми; птици, риби, безгръбначни и пр. Авторите са класифицирали функционалностите, предоставени чрез механизма на иризация, в две основни категории. Първата е визуална комуникация, включваща разпознаване на вида, пола и възрастта; избор на партньор; интеракция в бойни условия; механизми на полова селекция чрез честни модели на сигнализация, усилване на характеристиките, сензорно задвижване; ориентация и групиране в ята; избягване на хищници чрез механизми като мимикрия и камуфлаж, заблуда на противника и предупредително оцветяване. Втората се състои от некомуникативни функции, включващи регулиране на температурата; намаляване на триенето; водоустойчивост; подсилване; предпазване от светлина и подобряване на зрението.

Организмите, при които се среща иризация, са развили този механизъм в синхрон с условията, в които са еволюирали. Функционалността и красотата вървят ръка за ръка в природата.

При човека текстил и повърхности с ефект на иризация също изпълняват комуникативна функция като част от визуалния код на обекта, привличайки вниманието. Би било интересно да се проучат по-задълбочено начините, чрез които природните механизми на иризация създават функционалности като терморегулация и водоустойчивост. Това би дало идеи и насоки за създаване на нови видове многофункционален текстил и повърхности.

2. Създаване на цвят чрез наноструктури: биомиметичен подход

Биомимикрията е метод за създаване на материали, структури, повърхности, предмети, процеси и т.н. чрез имитация на природни механизми. Този метод се прилага в редица сфери, свързани с материалната култура на човек, от такива, занимаващи се с материята на нанониво, до сфери като архитектура. Постигането на цветове чрез имитация на механизмите на структурните цветове в природата е пример за биомиметичен подход в дизайна на текстил и повърхности.

2.1. Наноструктуриране на текстилни нишки: Morphotex®

Текстилът Morphotex®, създаден от японската компания Teijin® Fiber Corporation през 2005 г., е първият в света, който използва единствено структурно оцветяване за да постигне деликатно преливащ синкав цвят. Вдъхновен е от природния механизъм на иризация, придаващ блестящия ярко син цвят на крилете на южноамериканската пеперуда Morpho (*Фигура 2, 3*). „Това са влакна с ламинирана структура, която е възможна благодарение на нанотехнологиите, а дебелината на ламинирането се контролира в порядъка на нанометри за оптично разработване на цветовете.“ „Цветовете му се променят в зависимост от силата и ъгъла на светлината,

което създава елегантна текстура и блясък с прозрачност, сякаш са взети от дъгата. Затова Morphotex® е подходящ за текстил, интериор и материали.“ [11] Материалът, от който „първите в света структурни хромогенни влакна“ (хромогèнен: който създава цвят - бел. авт.) Morphotex® са изработени, е синтетичен, без добавени оцветители и пигменти. „Тънки филми с дебелина 70 nm, състоящи се от полиестер или найлон, се ламинират редувайки се в 61 слоя, като чрез прецизно контролиране на дебелината на слоя в зависимост от дължината на видимата вълна могат да се развият четири вида основни цветове, като червен, зелен, син и виолетов.“ [12]. Този тип структуриране на нишката създава отношението на материала със светлината, което резултира в цвят.

Създателите описват Morphotex® като „нанотехнология, базирана на структурния принцип на цветовете на пеперудата Morpho, използваща слоеве от полиестерни влакна, подредени така, че да произвеждат цвят при попадане на светлинни лъчи. Това е екологична технология, която не изисква нито багрила и пигменти, нито вода и енергия, които обикновено се консумират в процеса на багрене. Освен това вече няма безпокойство за кожни раздразнения, които могат да бъдат причинени от агресивни пигменти или багрила. Понастоящем MORPHOTEX се използва във висококачествени облекла, бои и козметика. Като технология, чувствителна и към човечеството, и към околната среда, MORPHOTEX е тъкан на бъдещето.“ [13]

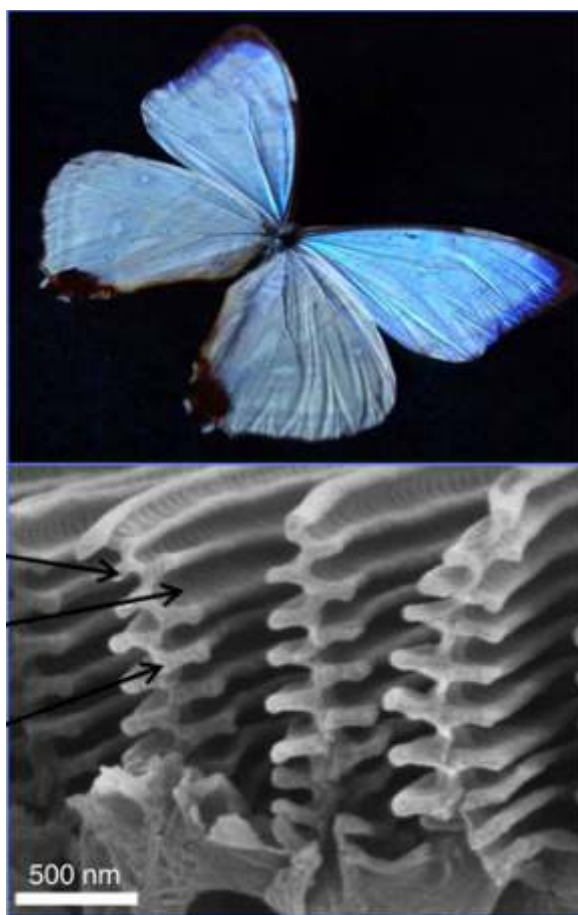
През 2009 г. модната дизайнерка Донна Сгро (Donna Sgro), работеща в Сидни, Австралия, създава рокля от този текстил (*Фигура 4*), която презентира по време на Седмицата на модата в Токио. Моделът, чиято кройка създава алюзия за пеперудата, вдъхновила структурната манипулация на текстила, става емблематичен за текстила Morphotex® и е част от колекциите на Лондонския музей на науката и на организацията „Биомимикрия Европа“ (Biomimicry Europa). [14]



Фигура 2 Пеперуда *Morpho menelaus huebneri*; мъжки екземпляр; гръбна страна.

Фотография: Didier Descouens

Източник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Morpho_menelaus_huebneri_MHNT_Male_Dos.jpg



Фигура 3 Иридисцентния цвят на крилете на пеперудата *Morpho sulkowskyi* (горе) и нано-структурата, която го създава (долу).

Фотография: Radislav A. Potyrailo et al.

Източник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Morpho_sulkowskyi_wings.jpg



Фигура 4 Рокля от текстила Morphotex®, дизайн на Донна Сгро, 2009 г.
Източник: <https://donnasgro.com/Morphotex-Dress>

2.2. Наноструктурирани покрития: структурно оцветяване на текстил

Докато при текстила Morphotex® цветът е функция на структурата на самите нишки, интерес предизвиква идеята за разработване на структурни оцветители с различни цветове, които да бъдат нанасяни върху текстил, подобно на традиционните багрила.

През 2014 г. екип от учени от САЩ и Китай разработват методи за структурно оцветяване чрез покритие на полиестерен текстил с наносфери от фотонни кристали. В процеса на нанасяне на покритието текстилът се потапя в колоиден разтвор (който се състои от частици от една субстанция в друга субстанция – бел. авт.), съдържащ наносферите. Те се закрепват към повърхността на текстила и се самоподкрепват в наноструктури, които взаимодействат със светлината, създавайки цвят. „Регулируемите структурни цветове в цялата видима област ... могат да бъдат регулирани чрез контрол на диаметрите на микросферите и

ъглите на гледане.“ [15 p. 41750 (1 of 9)] Различни цветове са възможни, като възприеманите от окото нюанси зависят от размера на наносферите и подредбата им в цялостна структура.

„... рядко се съобщава за изследвания, свързани с фотонни кристали върху текстил за получаване на структурни цветове. В сравнение с гладките, компактни и хидрофобни повърхности на твърдите субстрати, текстилът е с сложен облик на повърхността, като по-груби и променливи повърхности, много пролуки между влакната, нишките и т.н.“ Текстилът е материал, който е предизвикателен за структурно оцветяване, тъй като неговата същност е да бъде в постоянно движение, въздействайки с тялото на носещия го, както и с околната среда. [15 p. 41750 (2 of 9)]

През 2016 г. част от този екип от Китай продължава експерименти с други материали – създавайки филм от наночастици от силициев диоксид и полимер (polyethylenimine – PEI),

който играе ролята на свързвател, върху текстил от полиестер. [16 р. 296] Изпробвани са различни по размер наночастици, както и различен брой слоеве филми. Учените експериментират и с други разтвори от подобни вещества (фотонни кристали и свързващи полимери), изпробвайки ги върху два вида текстил – полиестер и естествена коприна. От тези експерименти, заедно с натрупан опит от други учени, е извлечен следният принцип: чрез контролиране на условията на производство като време, температура и допълнителни материали, диаметърът и еднаквият размер на микросферите може да се регулира, а това е съществено за постигане на точно определен цвят. Изследването на така образуваното нанопокритие показва, че микросферите от фотонни кристали се самоорганизируют в компактни периодични структури, подобно на атомите в кристална решетка.

Друга разработка на структурен цвят чрез наночастици от силициев диоксид е на учени от Китай и Великобритания. В публикацията си авторите назовават като източник на вдъхновението си опалите: „Естественят скъпоценен опал (Darragh et al. 1976), [който] се състои от периодична наноструктура с висока степен на подреденост на наночастици от силициев

диоксид (SNPs), е вероятно най-старият и най-известен пример за на фотонни кристали, показващи структурни цветове.“ [17]

Опалът (*Фигура 5*) е минералоид с аморфен строеж, който се състои от малки сферични частици силициев диоксид (*Фигура 6*) и водно съдържание, достигащо до 21%. [18] „Понякога в опала сферите на силициевия диоксид се събират заедно по подреден начин, като се подреждат в симетричен повтарящ се модел в аморфната структура. Сферите варират по размер и количество. Агрегацията на тези ориентирани силициеви сфери е причината да се наблюдава игра на цветове в опала. Играта на цветовете се получава, защото светлината, която влиза в опала, преминава през пролуките между силициевите сфери. Когато светлината преминава през тях, тя е принудена да се огъне, за да се вмести в празнината; този ефект на огъване разделя светлината на цветовете от спектъра. Цветът, който се вижда, зависи от размера на пролуката между сферите, който е пряко свързан с размера на самите сфери, които са с размер само няколко стотин нанометра.“ [19] Подобен тип структури, които са функционални на нано-равнище, могат да бъдат интересни за приложение в сферата на дизайна и в по-голям, видим мащаб.

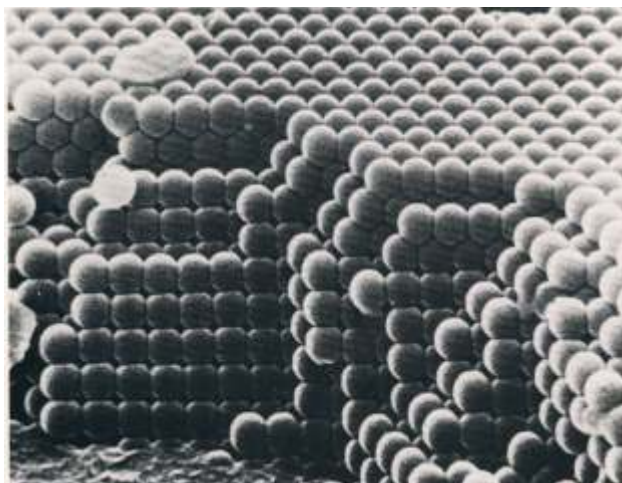


Фигура 5 Скъпоценен опал от Етиопия.

Фотография: James St. John

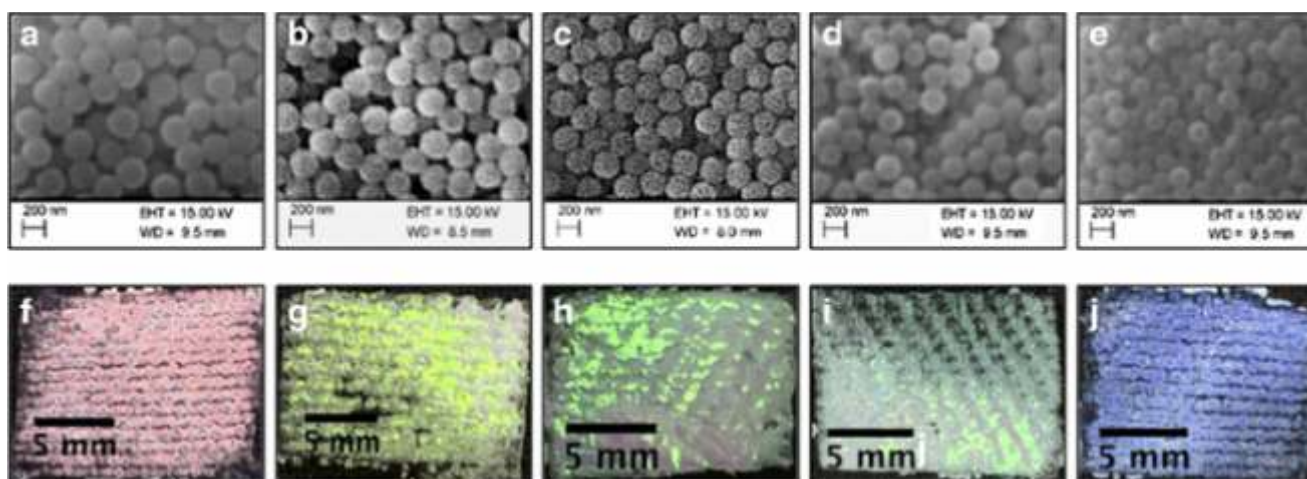
Източник:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Precious_opal_\(Shewa_Province,_Ethiopia\)_3_\(30031747362\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Precious_opal_(Shewa_Province,_Ethiopia)_3_(30031747362).jpg)



Фигура 6 „Сканираща електронна микрография на аморфни сфери от силициев диоксид, най-гъсто разположени в австралийски огнен опал“ [20]

Фотография: Hans-Ude Nissen; Източник: http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/aam/opal.htm



Фигура 7 Изображение, показващо връзката между различно структурирани микро-сфери (SiO_2), вдъхновени от структурата на опал, и структурния цвят, получен при нанасянето им върху текстил.

Автори: Weihong Gao, Muriel Rigout & Huw Owens

Това изображение е от статията

“The structural coloration of textile materials using self-assembled silica nanoparticles”,

DOI 10.1007/s11051-017-3991-7 [17]

Адаптирано под лиценз (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Разгледаните разработки за структурен цвят представят изследвания върху покрития от различни наночастици като фотонни кристали, силициев диоксид и др. Общото помежду им е принципът на действие: едно и също вещество се използва за постигане на различни цветове чрез вариране на размера на наночастиците (**Фигура 7**). Някои изследователи намират, че функционалността на подобни нано-покрития не се изчерпва с цветност: „В допълнение към структурните цветове, базирани на тези нано-покрития, разработването на функционални и интелигентни текстилни материали, като

чувствителни към влажност, реагиращи на натиск и се очаква да се появят гъвкави материали на текстилна основа, устойчиви на радиация.“ [16 p. 296]

През последните години имитацията на природния механизъм на структурен цвят в опалите и подобни структури от света на живите организми е основа за редица изследвания с цел постигане на нови методи за структурно оцветяване на текстил и повърхности. Паралелно с това се проучат и други начини структурното оцветяване да се утилизира.

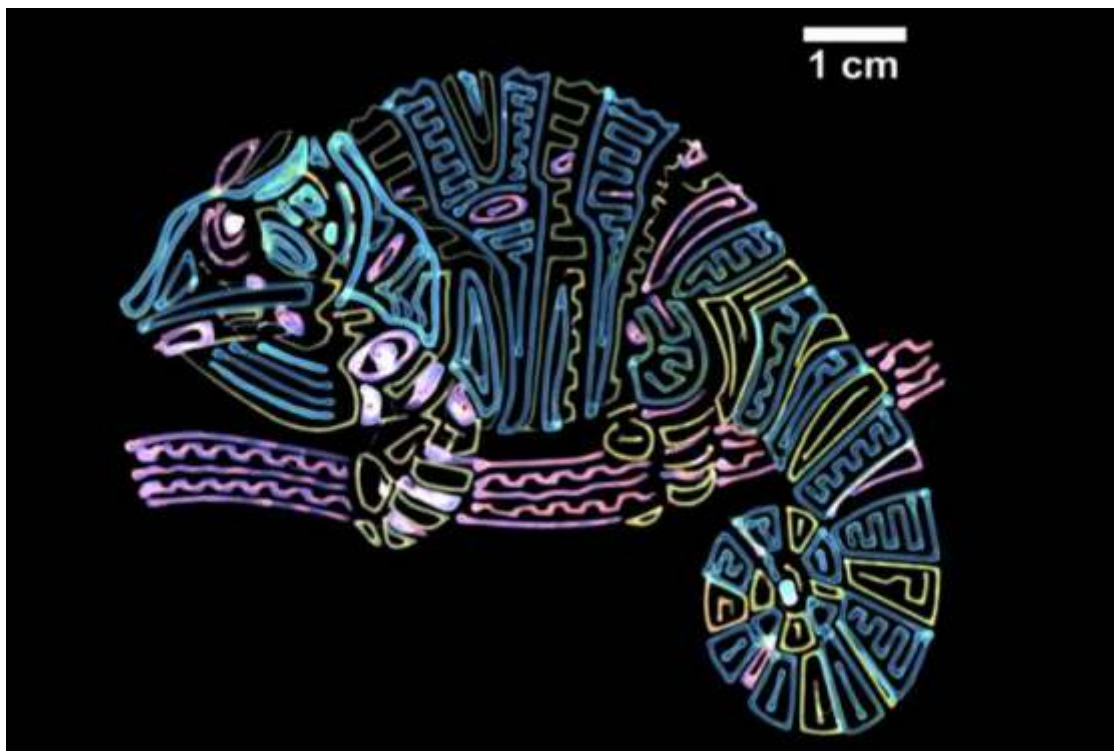
2.3. Наноструктурирано „мастило“ за 3D принт с регулируем цвят

Структурното оцветяване на повърхности е интересно за сферата на 3D принтиране. През 2020 г. екип от учени от Университета в Илинойс, САЩ разработва материал за 3D принт, който придобива определен цвят спрямо условията, при която е принтиран (*Фигура 8*). [21] Материалът, който авторите наричат „мастило“, е комбинация от полимери и „бутилко-видни“ фотонни кристали. Този „...модифициран процес на 3D принтиране осигурява универсален подход за производство на множество цветове от едно мастило“. [22]

Ръководещата проекта Ин Дяо (Ying Diao) анализира методите „за възпроизвеждане на тези ярки цветове в полимерите, използвани за производство на продукти като екологични бои“, стигайки до извода, че е нужен „прецизен контрол на синтеза и обработката на полимерите, за да се образуват невероятно тънки, подредени слоеве, които създават структурния цвят, какъвто виждаме в природата“. [22] Според съавтора на проекта Дамиен Гироне (Damien Guirounet) най-предизвикателно при синтеза на полимери е „считаването на прецизността, необходима за подреждане в наномасщаб, с производството на големи

количества материал, необходими за процеса на 3D принтиране.“ [22] За постигането на структурен цвят е необходимо създаване на миниатюрни структури, които са невидими за човешкото око и които са много по-малки от мащабите, в които работят 3D принтерите. Това изследване създава процес на „прецизно направляване на подредбата на материала по време на (...) процеса на принтиране“, което чрез „модулиране на скоростта на печат и температурата на леглото по време на директен 3D принт“ на „мултиграмов мащаб“ (масщаб, по-голям от един грам - бел. авт.) резултира в контролирано „настройване на оптичните свойства“ на материала. [21 р. 2] „Контролът върху скоростта и температурата на отлагане на мастилото ни позволява да контролираме скоростта на сглобяване и дебелината на вътрешния слой в наномасщаб, което обикновеният 3D принтер не може да направи“, казва съавторът Биджал Пател (Bijal Patel). [22]

Този материал, все още в началната фаза на развитието си, предлага многообещаващ метод за 3D принт на многоцветни структури от един и същ материал, който е едновременно изграждащ и оцветяващ. Потенциални приложения са 3D принт на текстил и повърхности, както и 3D принт върху традиционен текстил.



Фигура 8 Материал за 3D принт, чийто цвят може да бъде настроен според условията на принтиране. Фотография: Diao Research Group; Източник: <https://blogs.illinois.edu/view/6367/809468>

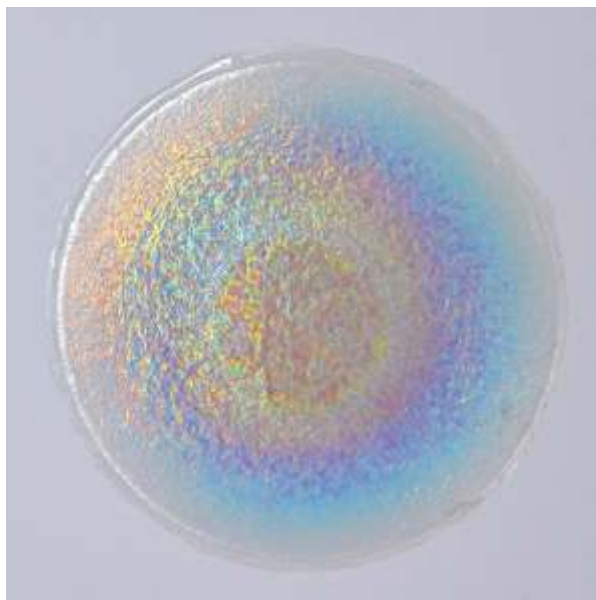
2.4. Структурно оцветени пайети от целулоза

Все още в експериментална фаза, наноструктурирането е интересен метод както за оцветяване на текстил, така и за оцветяване на материали, традиционно използвани за приложения към текстил.

През 2019 г. дизайнерката Елиса Брунато (Elissa Brunato) и учените Хялмар Гранберг (Hjalmar Granberg) и Тифани Албитол (Tiffany Abitbol) от Шведския изследователски институт (RISE) създават био иридисцентна пайета (*Фигура 9, 10*), „блестящо мънисто, изработено от естествена целулоза“. [23] Целта е да се създадат екологично устойчиви, биоразградими материали за украса на текстил, които да бъдат алтернатива на използваните днес пайети от пластмаса. В интервю Брунато разказва за процеса на създаване на пайетите, който започва с отглеждането на изходните материали, от които се произвежда целулозата. Целулозата е естествен био-полимер, от който, чрез преработка, се произвежда текстил като ацетат и вискоза. „Целулозата е един от най-разпространените полимери на Земята. Тя е

една от основните съставки, от които са изградени растенията, и може да се извлече от всякакъв вид дървета.“, казва Брунато, допълвайки, че бъдещите източници на целулоза могат да бъдат дори водорасли, изхвърлен деним или хартия. Целулозата се среща в различни форми. Брунато и екипът от учени работят с целулоза с кристална структура, за която е характерно да „пречупва светлината и прави пайетите естествено блестящи, без да е необходима химическа обработка“. Начинът на изработка на пайетите е приготвяне на течен разтвор от целулоза, който се поставя в калъпи, чиито форми могат да бъдат най-различни. Втвърдяването отнема около ден, а „материалът образува много здрави връзки, пайетите са леки и използват много малко целулоза на пайета.“

В контекста на този и други примери е интересна идея да се проучи как структурното оцветяване на целулозата би могло да се приложи към методи за 3D принт с целулоза, възможностите за които в момента са обект на изследвания. [24]

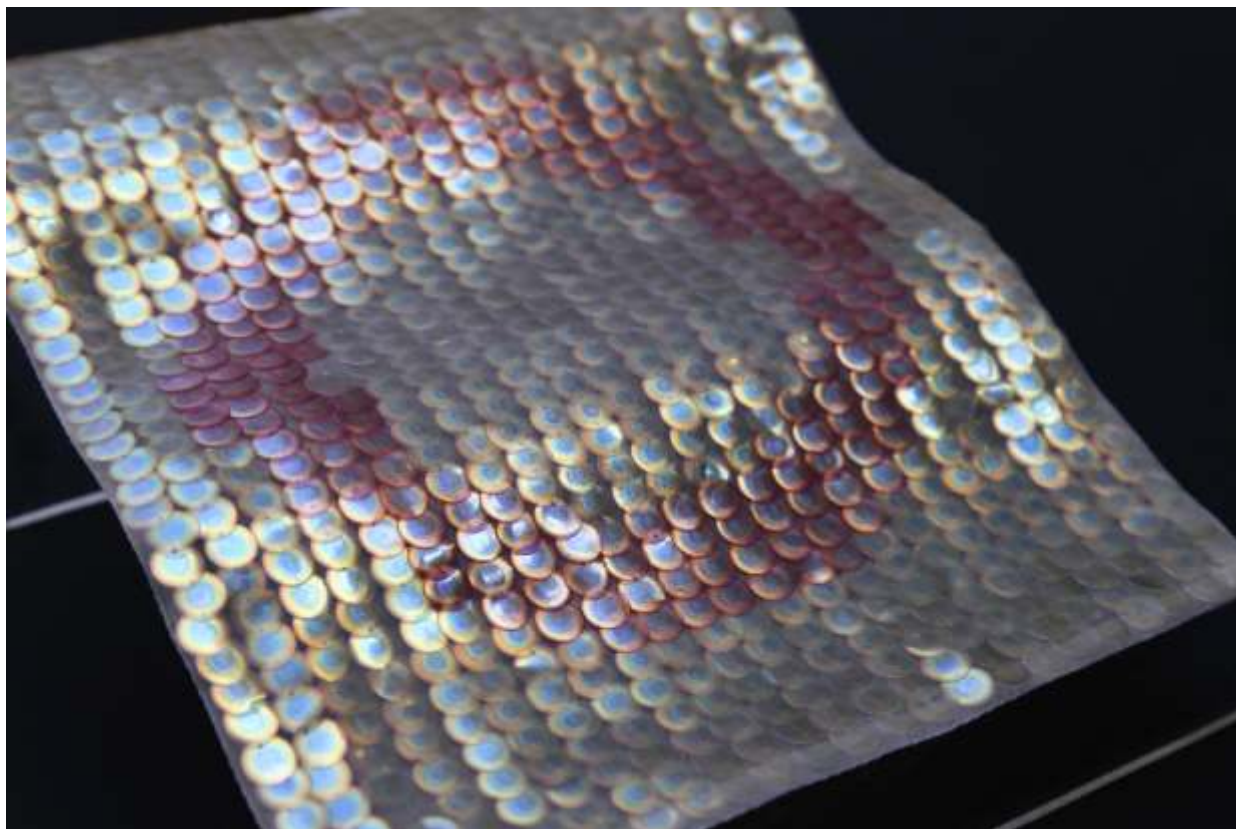


Фигура 9 Био-иридисцентна пайета

Разработка на Елиса Брунато, Хялмар Гранберг и Тифани Албитол.

Фотография: Elissa Brunato

Източник: <https://www.dezeen.com/2019/08/02/bio-iridescent-sequin-elissa-brunato-sustainable-fashion/>



Фигура 10 Текстил с апликирани био иризиращи пайети.
Разработка на Елиса Брунато, Хялмар Гранберг и Тифани Албитол.
Фотография: Elissa Brunato

Източник: <https://www.dezeen.com/2019/08/02/bio-iridescent-sequin-elissa-brunato-sustainable-fashion/>

3. Визуални ефекти чрез макроструктуриране на пигментно оцветени повърхности

Докато постигането на устойчиво структурно оцветяване на текстил все още е технологически предизвикателно, съществува тенденция чрез комбинация на пигментно оцветени материали с макроструктури да се създават интересни визуални ефекти. Този метод не е структурно оцветяване в класическия му смисъл, а може да се характеризира като „макроструктуриране на цветни повърхности“. За дизайнерите това е достъпен метод за постигане на нов тип естетика чрез утилизирание на техники, технологии и материали, характерни за сферата на дизайн на текстил и повърхности.

3.1. Предистория: Лентикулярен принт

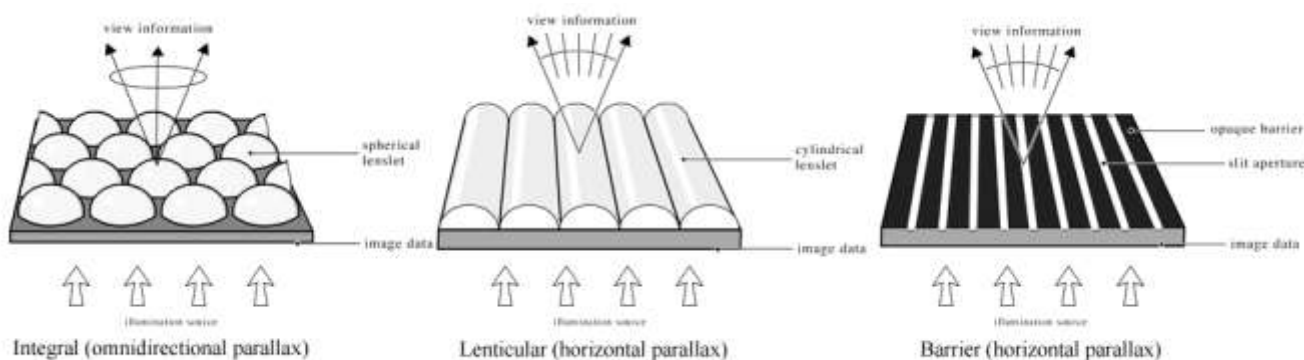
Лентикулярният печат е начин за създаване на визуален ефект, при който наблюдателят вижда различна картина, променяйки гледната си точка. „Нагънати картини“ (лат. *tabula scalata*, букв. „скалирани маси“ [превод -

Google Translate] - бел. авт.) със структури, наподобяващи плисе, показват различен образ, погледнати от различен ъгъл. Най-ранните известни образци датират от около XVII век [25], а някои от първите патенти за подобни технологии са около началото на XX век [26]. Днес лентикулярният печат е популярен и с широко приложение в сфери като визуални изкуства, дизайн, реклама и др.

Механизмът на оптичните ефекти (**Фигура 11**) е обяснен добре в сайта на глобалната общност за ситопечат, дигитален печат и печат върху текстил FESPA. „Съществуват начини за постигане на илюзия за движение и дълбочина в печата с помощта на оптика. ... Методът се нарича лентикулярен и ефектите могат да бъдат всякаква комбинация от движение, стереоскопична дълбочина (3D) и внезапни промени (обръщания). ... Лентикулярният печат съчетава преден слой от прозрачна пластмасова леща с отпечатан основен слой. Печатът може да бъде върху обикновена хартия, която след това

внимателно се подравнява и ламинира към пластмасовия материал на лещата, или може да бъде директно отпечатан (често чрез UV мастиленоструен печат) върху гладката задна страна на прозрачната пластмаса. ... Илюзията за движение или преобръщане се получава от промяната на гледната точка на очите: или чрез

преминаване покрай или към отпечатъка в случай на плакати, или чрез движение на главата или ръцете в случай на малки преносими изображения. Когато печатът се движи, дифракцията на лещите насочва различни ивици от изображението към очите ви и изглежда, че изображението се променя.“ [27]



Фигура 11 Схематично изображение, представящо механизма на възприемане на различни изображения при поглед от различни точки. [28 p. 4-5]

Автор: Michael Halle

Източник: <https://michaelscroggins.wordpress.com/autostereoscopic-imaging/>

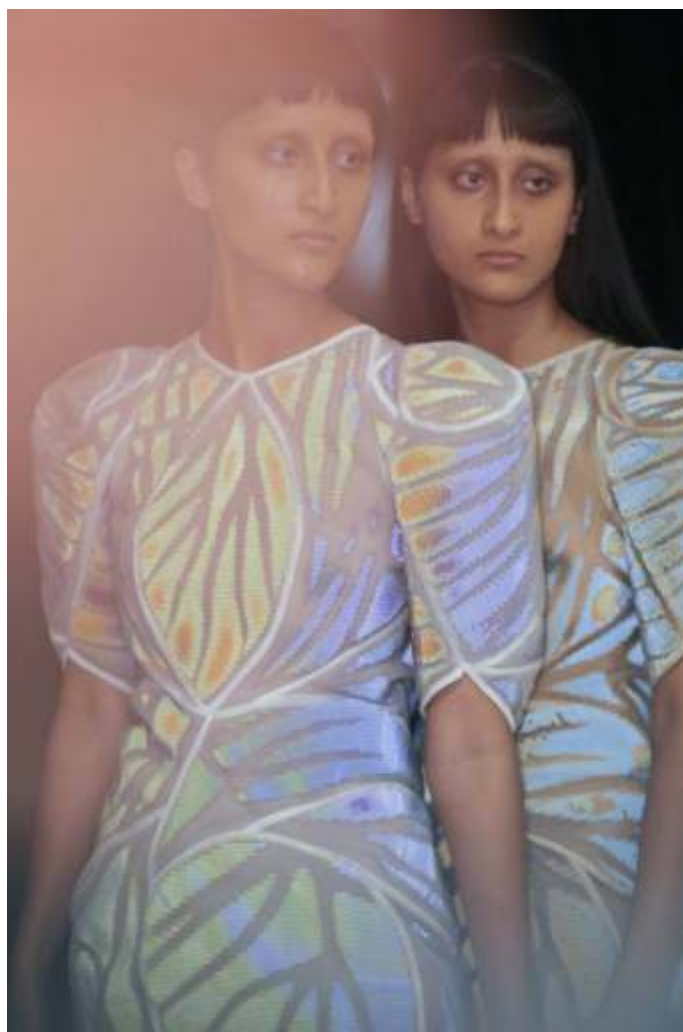
3.2. 3D принтирани лентикулярни лещи върху текстил

През 2019 г. модна къща threeASFOUR, дизайнерът Травис Фич (Travis Fitch) и производителят на хардуер, софтуер и материали за 3D принт Stratasys разработват съвместно роклята Greta Oto (**Фигура 12**) за колекцията Chro-Morpho на Stratasys. [29] Концепцията, че „природата има морфологично решение за генериране на цвят“ вдъхновява дизайнерите да изследват практически въпроса „Как животните и насекомите в природата използват кожата си и движенията си, за да генерират цвят?“. [29] Чрез комбинация от цвят и структура текстилът на роклята Greta Oto създава илюзия за иризация на текстилната повърхност. Докато в природата иризиращите цветове са резултат от структурно оцветяване на нанони-во, екипът от дизайнери постига аналогичен ефект чрез 3D принт на макроструктури върху традиционен текстил. Пигментно оцветени полимери, покрити с обемни лентикулярни лещи от прозрачен полимер, са 3D принтирани върху текстил от полиестер (**Фигура 13**). „threeASFOUR и Фич разработиха клетъчен подход, като използваха ефекта на лещата, за да играят със светлината и цветовете в дизайна. Чрез отпечатване на сферични клетки с размер на люспа от риба върху плата, които се състоят от прозрачна леща с две цветни ленти под нея, цветът на роклята се променя при всяка малка промяна на ъгъла на осветяване, създавайки преливащо и хипнотизиращо представяне на златисто-синьо цветovo многообразие.“ [30] Погледнати от

различни гледни точки, лентикулярните лещи показват различни цветове. Този ефект се активира чрез движение.

Технологията е близка до традиционния лентикулярен печат. Компютърното 3D моделиране позволява да се създават сложни структури от вариращи по големина „сферични клетки“, а напредъкът в технологията на 3D принт дава възможност едновременно да се принтират различни цветове и материали. Прикрепването на сложния триизмерен десен към текстилна основа създава повърхност от твърди елементи върху гъвкава основа. Конт-растът от твърдо и меко заедно с визуалната игра на цветовете е интригуващ за сетивата както на този, който носи роклята, така и за наблюдателите около него. Така се обогатяват начините, по които човек взаимодейства със средата си.

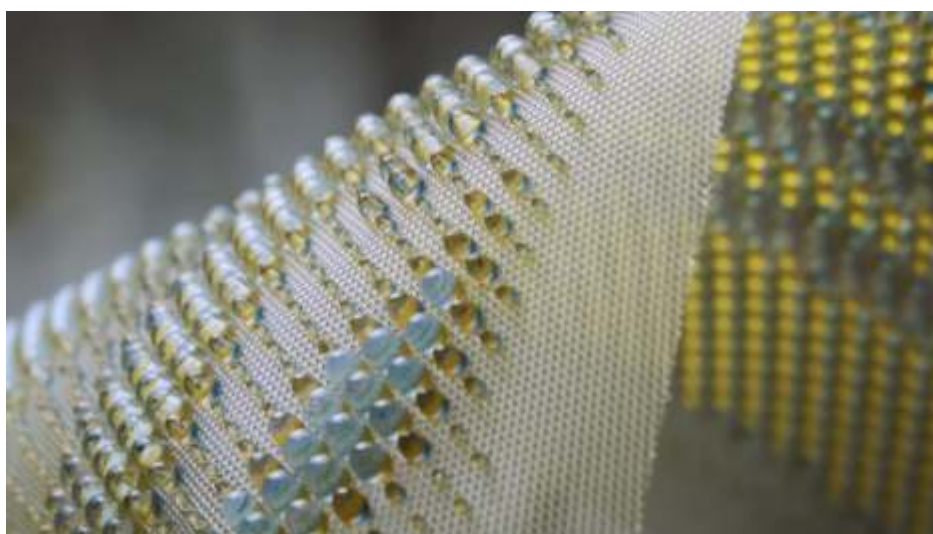
Иновативна повърхност притежава обзори-ми естетически качества, които отразяват не просто цветната основа под сферичните лещи, а са отражение на духа на нашето съвремие. Днес става все по-обозримо, че светът, в който живеем, съчетава у себе си различни „цветове“ във всеки един смисъл. Същността на много фундаментални аспекти на живота ни се променя със смяна на гледната точка. Учим се да съчетаваме различни перспективи в едно цяло. Затова интуитивно привлекателни са иризиращи повърхности, които са едновременно загадка за възприятията ни и достъпна физическа репрезентация на особен вид парадоксалност.



Фигура 12 Рокли модел Greta Oto от колекцията Chro-Morpho на Stratasys. 2019.

Фотография: Schohaja

Източник: <https://threeasfour.com/pages/human-plant>



Фигура 13 3D принтирани лентикулярни лещи върху текстил.

Разработка на threeASFOUR, Travis Finch и Stratasys. 2019.

Източник: <https://www.youtube.com/watch?v=V4iOuSjgP0o> [Screenshot]

Заклучение

Взаимоотношението между структура и цвят, различно на нано-ниво и на макро-ниво, е източник на нови идеи за дизайн на текстил и повърхности. Имитирайки и интерпретирайки природни механизми, изследователи и дизайнери разработват съвременни методи за структурно постигната цветност, които могат да предоставят способности за оптимизиране на процесите на багрене и печат върху текстил. Иризиращият ефект, който в природата се постига без пигменти, вдъхновява дизайнерите да го пресъздадат чрез съвременни технологии като 3D принт и пигментно оцветени материали. И в двата случая за постигането на желан ефект ключова роля играе структурата, която чрез взаимодействие със светлината на нано-ниво или чрез взаимодействие с ъгъла на наблюдение на макро-ниво създава интригуваща цветност, която е интуитивно привлекателна и вдъхновяваща нови усещания за „динамична“ материалност.

РЕФЕРЕНЦИИ

- [1] In a conversation with Verjina Markarova, PhD. (January 2022)
- [2] Sun, Jiyu, Bhushan, Bharat, & Tong, Jin.. Structural coloration in nature. 2013. In: RSC Advances, 3(35), 14862. doi:10.1039/c3ra41096j
- [3] Helmenstine, Anne Marie. Pigment Definition and Chemistry. [Internet] In: ThoughtCo. Updated on 2021 Aug 12 [accessed September 13, 2022] Available from: <https://www.thoughtco.com/pigment-definition-4141440>
- [4] Harris, William & Freudenrich, Craig. How Light Works. [Internet] In: HowStuffWorks.com. 10 July 2000. [Accessed 2022 Sep 13] Available from: <https://science.howstuffworks.com/light.htm>
- [5] Kumar, A. , Dixit, U. , Singh, K. , Gupta, S. P. , Beg, M. S. J. Structure and Properties of Dyes and Pigments. In: Papadakis, R. , editor. Dyes and Pigments - Novel Applications and Waste Treatment [Internet]. London: IntechOpen; 2021 [cited 2022 Sep 13]. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/76561> doi: 10.5772/intechopen.97104
- [6] Luiggi, Christina. Color from Structure. The Scientist. 2022;(2013/2):42-48.
- [7] Yu, Kuilong, Fan, Tongxiang, Lou, Shuai, & Zhang, Di. Biomimetic optical materials: Integration of nature's design for manipulation of light. 2013. In: Progress in Materials Science, 58(6), 825-873. doi:10.1016/j.pmatsci.2013.03.00
- [8] Doucet, Stéphanie M., & Meadows, Melissa G. (2009). Iridescence: a functional perspective. Journal of The Royal Society Interface, 6(Suppl_2), S115-S132. doi:10.1098/rsif.2008.0395.focus
- [9] Meadows MG, Butler MW, Morehouse NI, Taylor LA, Toomey MB, McGraw KJ, Rutowski RL. Iridescence: views from many angles. J R Soc Interface. 2009 Apr 6;6 Suppl 2(Suppl 2):S107-13. [Accessed 2022 Sep 13] doi: 10.1098/rsif.2009.0013.focus. PMID: 19336343; PMCID: PMC2706472. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2706472/>
- [10] Buehler, Jake. Color-changing animals, explained. [Internet] In: National Geographic.com. 2020 Feb 18 [Accessed 2022 Sep 19] Available from: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/color-change-camouflage-animals-explained>
- [11] MORPHOTEX®. [Internet] Date, author and further information not listed. Accessed 2022 Sep 14. Available from: <http://web.archive.org/web/20090325044402/http://www.teijinfiber.com/english/products/specifics/morphotex.html>
- [12] www.nanotechproject.tech Morphotex® Fiber. [Internet] Date and author not listed. Quote accredited to Kenkichi (2005). [Accessed 2022 Sep 14. Available from: <https://www.nanotechproject.tech/cpi/products/morphotex-r-fiber/>
- [13] Teijin® Fiber Corporation. No title. In: 2006 Teijin Group CSR Report [Record for fiscal 2005] [Brochure] August 2006. Last page. [Accessed 2022 Sep 14] Available from: https://www.teijin.com/csr/report/pdf/csr_06_en_all.pdf
- [14] Sgro, Donna. Morphotex Dress. [Internet, personal website]. Date not listed. [Accessed 2022 Sep 14] Available from: <https://donnasgro.com/Morphotex-Dress>
- [15] Liu, Guojin, Zhou, Lan, Wu, Yujiang, Wang, Cuicui, Fan, Qinguo and Shao, Jianzhong. The fabrication of full color P(St-MAA) photonic crystal structure on polyester fabrics by vertical deposition self-assembly. 2014. J. Appl. Polym. Sci., 132, 41750, doi: 10.1002/app.41750
- [16] Shao, J., Liu, G., & Zhou, L. Biomimetic nanocoatings for structural coloration of textiles. 2016. Active Coatings for Smart Textiles, 269–299. doi:10.1016/b978-0-08-100263-6.00
- [17] Gao, Weihong, Rigout, Muriel & Owens, Huw. The structural coloration of textile materials using self-assembled silica nanoparticles. 2017. In: Journal of Nanoparticle Research 19, 303.

- [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
<https://doi.org/10.1007/s11051-017-3991-7>
- [18] Minerals. net. The Mineral Opal. [Internet] Date of publication not listed. [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
<https://www.minerals.net/mineral/opal.aspx>
- [19] Gem-A.com. Understanding Play of Colour and Patterns in Opal Gemstones. [Internet] Date and author not listed [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
<https://gem-a.com/gem-hub/gem-knowledge/colour-patterns-opal-gemstones-rare>
- [20] Mineralogical Society of America. Collector's Corner. [Internet] Date and author not listed. [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/aam/opal.htm
- [21] Patel, B. B., Walsh, D. J., Kim, D. H., Kwok, J., Lee, B., Guirionnet, D., & Diao, Y. (2020). Tunable structural color of bottlebrush block copolymers through direct-write 3D printing from solution. *Science Advances*, 6(24), eaaz7202. doi:10.1126/sciadv.aaz7202 Available from:
<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaz7202>
- [22] Yoksoulilian, Lois. Researchers mimic nature for fast, colorful 3D printing. [Internet] Illinois News Bureau. 2020 Jun 10 [Accessed 2022 Sep 13] Available from:
<https://blogs.illinois.edu/view/6367/809468>
- [23] Block, India. Bio Iridescent Sequin made from trees responds to growing demand for greener fashion. [Internet] Dezeen.com. 2019 Aug 2. [Accessed 2022 Sep 16] Available from:
<https://www.dezeen.com/2019/08/02/bio-iridescent-sequin-elissa-brunato-sustainable-fashion/>
- [24] Burn, K., Vettese, S., & Shackleton, J. (2017). An exploration of the sustainable and aesthetic possibilities of 3D printing onto textiles as an alternative to traditional surface decoration, utilising cellulosic material. In *Circular Transitions Proceedings*, (141 - 154) Available from:
<https://www.napier.ac.uk/~media/worktribe/output-1302539/an-exploration-of-the-sustainable-and-aesthetic-possibilities-of-3d-printing.pdf>
- [25] Wikimedia Commons. File:1638 niceron - la perspective curieuse.jpg. [Image on the Internet] [A photocopy of a image from Jean Francois Nicéron's book "La perspective curieuse" dating from 1638.] [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1638_niceron_-_la_perspective_curieuse.jpg
- [26] Hess, Walter. Stereoscopic picture. US1128979A. 1915. [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
<https://patentimages.storage.googleapis.com/9b/73/df/b7126d4fcb89b3/US1128979.pdf>
- [27] FESPA. Lenticular printing explained - part 1. [Internet] 2015 Aug 20 [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
<https://www.fespa.com/en/news-media/features/lenticular-printing-explained-part-1>
- [28] Halle, Michael. Autostereoscopic displays and computer graphics. May 1997. In: *Computer Graphics, ACM SIGGRAPH*, 31(2), pp 58–62. [Accessed 2022 Sep 17] Available from:
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.83.7909&rep=rep1&type=pdf>
- [29] Stratasys. The Chro-Morpho Collection by Stratasys. [Video on the Internet] 2019 Oct 31. [Accessed 2022 Sep 18] Available from:
<https://www.youtube.com/watch?v=V4iOuSjgP0o>
- [30] 3D Fashion by Stratasys. Greta Oto Dress. [Internet] Date of publication not listed. [Accessed 2022 Sep 18] Available from:
<https://3dprintedart.stratasys.com/portfolio-1/greta-oto-dress>

¹ Според „Речник на българския език“ на Институт за български език към БАН *иризация* е „игра на цветовете, оцветяване при някои тела, която се дължи на различни прояви на дифракция или интерференция на светлината. Гледан срещу светлината, гипсът показва цветовете на слънчевия спектър. Това свойство на минералите се нарича иризация. Геол. VIII кл, 32. - *От фр. irisation*“

[<https://ibl.bas.bg/rbe/lang/bg/%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F/>]

Добавям това уточнение, тъй като думата „иризация“ в българския език разговорно може да се замени с „иридесценция“, която идва от английската „iridescence“. В английския език „iridescence“ е общоприетият термин, а „irisation“ може да бъде използван със същото значение.

[<https://www.merriam-webster.com/dictionary/iridescence>]

[<https://www.merriam-webster.com/dictionary/irisation>]

Терминът „иризация“ описва зрителен ефект на преливащи се цветове в спектъра на дъгата. Според известните ми примери за подобен ефект в природата, не всяка иризираща повърхност проявява пълния спектър на дъгата, понякога преливащите цветове са по-малко. - Бел. авт.