

# 光澤度計量測原理及牙科贗復物之表面光澤量測研究

## The Principle of Gloss Measurement and the Study of Gloss Measurement on the Surface of Dental Prosthesis

張漢釗、徐名瑩、汪硯雲、陳柔甄

Han-Chao Chang, Ming-Ying Hsu, Yen-Yun Wang, Rou-Jhen Chen

當病患需要自行花費進行牙科贗復物(牙冠)製作時,病患對於牙科贗復物與真牙之間的顏色,都希望能達到無色差的美學狀態。雖然在牙冠顏色上,比色機已能提供最低色差的功能要求,但是由於牙冠材質與真牙的差異,在光澤度及在實際臨床上會有相當大的差異。市售光澤度計主要量測大面積工程品的塗裝表面且其探頭體積過大,無法在患者口腔處量測;且量測光斑尺寸過大,對於小面積的前牙區域容易造成量測偏差。因此本文將說明光澤度計量測原理,並採用釉面陶瓷白瓷的 $60^\circ$ 鏡面光澤度(ASTM C584-81)和Zemax OpticStudio<sup>®</sup>光學軟體,進行機身厚度大於10 mm的微型光澤度計光斑範圍與繞射極限研究。依據本研究之光學模擬結果與比較牙冠與真牙之間的光澤度數據後,我們確定微型光澤度計的光斑範圍介於1至3.8 mm且光學設計已接近點光源,因此可減少光學系統的像差,並提高準直光線的平行度。本研究結果可導入牙科贗復物光澤度量測,以協助提升牙科贗復物配戴後的美學品質。

When the patient needs to make a dental prosthesis (dental crown) at their own expense, the patient hopes that the color between the dental prosthesis and the real tooth can achieve a color shading aesthetic state. Although the colorimeter can provide the lowest color difference in the crown's color, due to the difference between the material of the crown and the real tooth, there will be a considerable difference in gloss at the actual clinical practice. Commercially available gloss meters mainly measure the coating surfaces of large-area engineering products, and their probes are too large to be measured in the patient's mouth; and the measurement spot size is too large, which may easily cause measurement deviations for a small area of the front teeth. Therefore, this article will explain the gloss measurement principle and use the  $60^\circ$  mirror gloss of the glazed ceramic white porcelain (ASTM C584-81) and Zemax OpticStudio<sup>®</sup> optical software to perform the small gloss meter light spot with a body thickness of more than 10 mm research on the range and diffraction limit. Based on the optical simulation results of this study and comparing the gloss data between the crown and the real tooth, we determined that the spot range of the micro-gloss meter is between 1 and 3.8 mm, and the optical design is close to point light source, so reduce the aberration

of the optical system and improve the parallelism of the collimated light. This research can import gloss measurement into the dental prosthesis gloss measurement to improve the aesthetic quality of the dental prosthesis.

## 一、前言

牙科贗復物為常聽到的假牙或義齒，視為牙齒的補綴物。當病患需要自行花費進行牙科贗復物製作時，病患對於牙科贗復物與真牙之間的顏色，都希望能達到無色差的美學狀態。早期使用比色板及數位相機拍攝等比對方式(如圖 1 所示)，因比色板在不同拍攝條件下，如不同背景、不同明度、不同彩度、不同大小及口腔內突出或凹陷空間位置等條件，會影響醫師使用比色板的正確性，故此方法已經不敷需求。



圖 1. 比色板與數位相機拍攝比對顏色<sup>(1)</sup>。

現在的牙科贗復物在顏色上，要求高精確且數值化，因此在高精確度的要求下部分的醫生開始使用比色機。市面上大多數的比色機(例如 spectroshade micro II) 都是 spectrophotometer (光譜儀或稱分光光度計)，其基本原理是機器測量由牙齒上面反射回來的反射光，以 20 nm 波長間隔來記錄反射物的光譜特性(共分為 17 個波長間隔)，再將資料轉化為國際照明協會(CIE) L\*a\*b 表色系統，得到之參數再提供技師進行分析及測量，如圖 2 所示。



圖 2. 數位比色機<sup>(2)</sup>。

在使用比色機進行真牙檔案顏色判定時，會得到相對正確的顏色座標。因此在牙科贗復物製作後與真牙檔案比對時，可以得到正確的顏色參考資料，如圖 3 所示。雖然比色機能提供人工牙科贗復物精確的無色差要求，但無論牙科贗復物為全瓷牙或瓷牙 (合金表層燒上瓷粉)，其材質仍與真牙不相同。兩者在光澤度的呈現以及在整體美學及外觀方面，存在有相當大的差異。目前在牙科贗復物相關研究上，並沒有針對光澤度進行量測及研究。故本研究為開發牙科贗復物用之光澤度計，進行牙科贗復物與真牙間的光澤度數值化資料比對。由於市售光澤度計光斑面積過大，無法適用於牙科量測。因此本研究之目的為設計可調整量測光斑大小，而且操作上較適用於臨床量測的光澤度計。

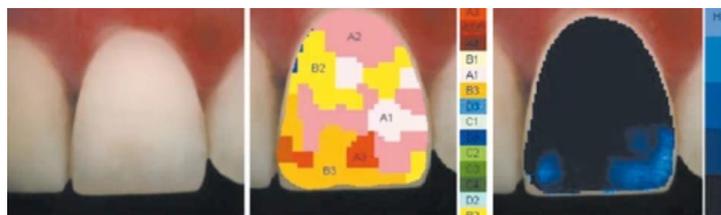


圖 3. 使用比色機資料進行顏色比對<sup>(2)</sup>。

## 二、光澤度操作原理

### 1. 市售光澤度計應用領域

光澤度計是用來測量物體表面光澤程度的儀器。光澤度是在一組幾何規定條件下對材料表面反射光的能力進行數據量化的物理量。因此，它表述的是具有方向選擇的反射性質。根據光澤的特徵，可將光澤分為幾類，一般說的光澤是為「鏡向光澤」，因此光澤度計有時也叫鏡向光澤度計。而光澤度與機械加工行業的「光潔度」或「粗糙度」的概述完全不同，後者是針對材料表面微小不平整度的判定。鏡向光澤度是針對鏡向光澤的相對量測值。假設其平面在得到理想拋光的狀態下，由該平面對自然光束進行鏡向反射，並定義光澤度值為 100.0 之光澤單位 (GU)。光澤度計按照得到的角度分為高光澤、中光澤和低光澤三種類型。

光澤度計操作簡單，一般在測量之前需要使用隨機的標準平板進行儀器校準，再進行量測。有關光澤度的國際標準<sup>(3-9)</sup>，統整如表 1 所示。ISO 2813 規範為在 20°、60° 及 85° 角度下清漆或油漆的非金屬漆膜的光澤度測定。ASTM D523 規範為鏡面光澤度的標準測試方

法。ISO 7668 規範為在 20°、60° 及 85° 角度下陽極氧化鋁和鋁合金測量鏡面反射率和鏡面光澤度。JIS Z8741 規範為鏡面光澤度的測量方法。ASTM C584 規範為釉面陶瓷白色及相關產品的鏡面光澤標準測試方法。ASTM D1455 規範為 60° 鏡面光澤乳液地板拋光的標準測試方法。ASTM D2457 規範為塑料薄膜和固體塑料的鏡面光澤的標準測試方法。由以上標準可以得知，每個規範皆有不同標準的光波長量測、標準試片光學折射率、拋光程度與最大光澤度值。本研究所量測的牙科贗復物為釉面燒結材質，故標準上適用於 ASTM C584 規範，標準件為 1.54 折射率之玻璃平板，表面經高度拋光，最大光澤度 (GU) 為 94。

表 1. 光澤度國際標準統整表。

標準規範	波長 (nm)	材料折射率 (n)	Spectral Line	Finishing	光澤度 (GU)
ISO 2813	587.6	1.567	D (He)	每釐米 < 2 個 干擾光圈	100
ASTM D523	589.3	1.567	D1 (N)	高度拋光	100
ISO 7668	未規定	1.567	未規定	每釐米 < 2 個 干擾光圈	100
JIS Z8741	全範圍	1.567	ne	高度拋光	100
ASTM C584	未規定	1.540	未規定	未規定	94
ASTM D1455	未規定	1.567	未規定	未規定	100
ASTM D2457	未規定	Fresnel	未規定	未規定	100

光澤度計的角度大多分為以下幾種：20°、45°、60°、75°、85° 等。不同廠家，會製作出雙角度或者三角度的光澤度計，光澤度的單位為 GU。光澤度在不同角度下有線性區域，當光澤度低於線性區域，量測結果會產生嚴重誤差，如圖 4 所示。量測角度在 20° 光澤度的線性範圍為 70 GU 以上，量測角度 60° 光澤度的線性範圍為 10 GU 至 70 GU，量測角度 85° 光澤度的線性範圍為小於 10 GU。

如圖 4 例子中，當一個樣品光澤度在 60° 量測時約為 28 GU 時，使用 20° 度量測光澤度約為 5 GU，使用 85° 量測時約為 62 GU。因此不同光澤度配合不同樣品才能得到真正之光澤度數值，不同光澤度及樣品的適用範圍，如表 2 所示。20° 主要使用在量測高光澤度塑膠薄膜或是汽車烤漆鍍金表面，30° 主要使用在量測高光澤度影像反射面，45° 主要使用在量測瓷器、琺瑯或塑膠表面，60° 主要使用在量測所有漆或是塑膠光澤度量測，75° 主要使用在量測打蠟表面或是紙張，85° 主要使用在量測低光澤度粗造平面。

表 2. 光澤度角度及適用範圍統整表<sup>(1)</sup>。

Illumination angle (°)	Applications
20	High gloss of plastic film, appliance and automotive finishes
30	High gloss of image-reflecting surfaces
45	Porcelain enamels and plastics
60	All ranges of gloss for paint and plastics
75	Coated waxes and paper
85	Low gloss of flat matte paints and camouflage coatings

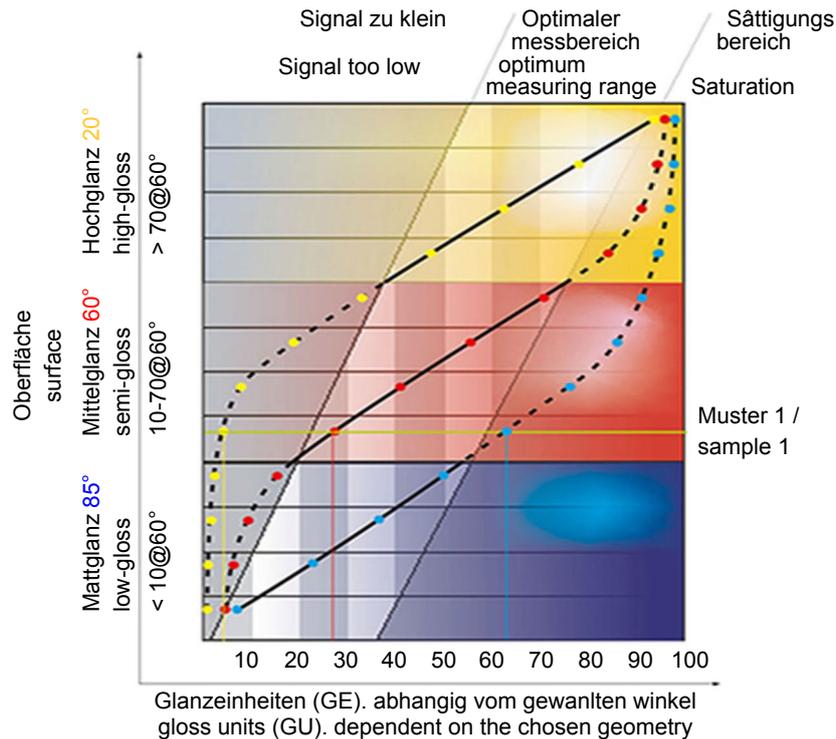


圖 4. 光澤度角度與量測區間<sup>(10)</sup>。

## 2. 光澤度量測原理

光澤度計的標準反射鏡，採用可追溯美國國家標準暨技術研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 初級鏡面光澤度標準，包含標準的折射率、鏡面光澤度和光反射特性。NIST 鏡面光澤度測量的理論標準<sup>(11)</sup>，被指定為高度的拋光平面黑色玻璃，其在鈉的 D 譜線波長為 589.3nm，nD 為 1.567 的折射率，並且對於三種標準幾何形狀中的每一種，被賦予 100 的鏡面光澤值。

非偏振光的鏡面反射率，使用菲涅耳公式 (Fresnel formula) 計算，並在表 3 中列出。由於沒有正確 nD = 1.567 的黑色玻璃，因此使用其他材料做為主要標準，其光澤值是從菲涅耳反射率計算出來的，而在 70 年代以前 NIST 使用的鏡面光澤度主要標準為 nD = 1.527 的商業卡拉拉黑色玻璃。通常，使用黑色玻璃作為主要鏡面光澤度標準存在許多缺點，因黑色玻璃的表面不均勻，耐久性不良且容易損壞，因此需要頻繁的進行重新校準步驟。據 Nadal 與 Thompson<sup>(12)</sup> 研究報告顯示，拋光黑色玻璃由於表面化學污染而不穩定，導致折射率在三年至四年的時間內變化為 0.3% 至 0.5%。這些變化分別對應於 20° 和 60° 標準幾何形狀的鏡面光澤度值的變化約為 1% 至 2%，而使用氧化鈾進行光學拋光後可以恢復原來的光澤度，並且在表面折射率的均勻性變化約 0.5%。ISO 2813 文件標準提出了一種具有粗糙邊緣和背面的透明玻璃為黑色玻璃的替代品，將背面塗漆成黑色用以吸收任何透射光。但此標準的困難點就是要找到一種與透明玻璃的折射率匹配的黑色漆。否則，來自背面的散射光將進入接收器，並導致測量光通量的誤差。而黑色漆的替代方法是以一定角度切割透明玻璃，使後視反射不會入射在接收器上，但是這種選擇對於工業中常用的小型便攜式儀器是不可行的。

表 3. 在不同波長下 BAK50 玻璃的折射率  $n$ 。

Wavelength (nm)	$n$
435.8	1.5800
480.0	1.5753
546.1	1.5702
589.3	1.5677
643.9	1.5654

上述鏡面光澤度標準的缺點，促使 NIST 定義新的主要標準。首先，標準應具有高化學和機械耐久性的市售高純度光學玻璃。其次，折射率應盡可能接近 1.567 以符合紀錄標準。第三，材料應均勻且具有與黑色玻璃相似的分散特性。因此 NIST 選擇光學優質之鉕冠玻璃 BAK50 作為新的主要標準，因它具有高的化學和機械耐久性且  $n_D$  值為 1.5677。此外，該玻璃的折射均勻性指數在  $70 \text{ mm}^2$  以上的面積內，比黑色玻璃更好。其方法使用三塊尺寸為  $98 \text{ mm} \times 98 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  的 BAK50，並且 NIST 在後表面製造了  $6^\circ$  的楔形件。如圖 5 所示，該角度足以將入射在後表面上的光反射出接收器的視場外的所有標準幾何形狀。為消除周圍黑色陽極氧化外框的反射，NIST 將前表面和後表面拋光至  $0.6 \text{ nm}$  至  $1.0 \text{ nm}$  的粗糙度，並在樣品的背面和邊緣放置黑色毛氈材料。

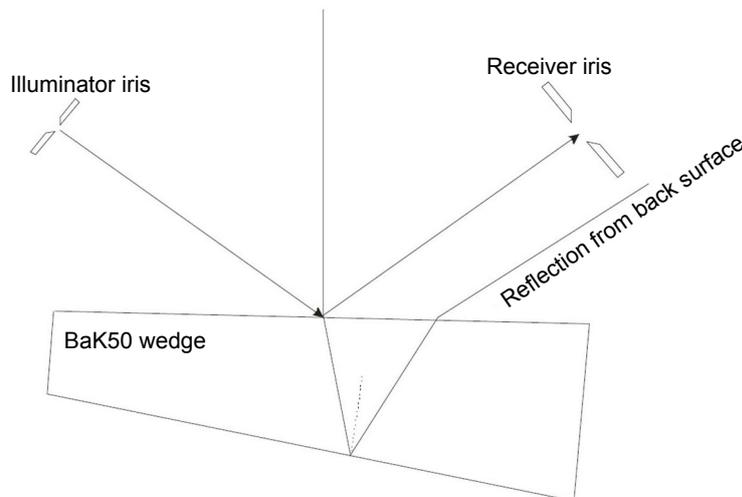


圖 5. 新的 NIST 主要標準示意圖顯示入射和反射光束在鏡面幾何。

### 3. 光澤度計校準方式

在使用光澤度計之前，必須先進行儀器校準。依據 ISO 2813 標準<sup>(3)</sup> 規定，光澤度計應可檢測至最接近全光澤度的數值。因此，校準用的參考儀器和主要標準的校準不確定度應小於一個光澤單位。NIST 提供的參考光澤度計在校準高度拋光的黑色玻璃時，相對不確定度擴大 ( $k = 2$ ) 為 0.3%。大多數光澤度計在出售時都附帶具有高光澤度 ( $\sim 95 \text{ GU}$ ) 的校準板 (圖 6)。當使用校準功能時，可能會發生以下三種情況：

- 找到 (存儲在儀器中) 讀值與校準值的比率，讀取並用於縮放所有後續值。(校準正確)。
- 用戶調整顯示的讀值以匹配校準值。(校準正確)。

• 儀器檢查測量值是否在一定範圍內，但僅允許讀取。(一次性校準檢查)。

假設此標準板的光澤度值為  $a$ ，光源發出的光強度為  $b$ ，光電訊號檢測到的光強度為  $c$ ，透過校準過程可得知光源的光強度值為  $b = c/a$ 。在校準過程中，一定要保證光澤度計底面和校準板接觸得非常緊密。當校準完成後，即可以開始對待測平面進行測量。假設待測平面光澤度值為  $x$ ，光電訊號檢測到的光強度為  $I$ ，光源的光強度為  $b$ ，則  $b = I/x$ 。聯合以上兩式，將得到  $x = I/c * a$ 。



圖 6. 光澤度校正平板<sup>(13)</sup>。

但需要注意的是，每種型號的光澤度儀的標準是不同的。理論上標準板的光澤度值  $a$  和國家標準定義會存在一個線性關係。在光澤度測量中，習慣分為高、中、低三個光澤度值範圍。只要用兩塊已知標準光澤度值的校準平板進行量測就可以知道它的線性關係。但實際情況是理論值和實際值不一定保持如此理想的線性關係，所以我們要透過大量採集光澤度值進行標準值定義。

### 三、研究方法

目前市售的光澤度量測儀器在外型及功能上，並不符合牙科贖復物及臨床上的操作條件。一般前門牙為對美觀最需要重視的部分，對前牙的植體來說顏色及光澤度的準確度的要求也最高。但前牙的平坦表面的面積非常小，最大光斑需小於 4 mm。但市售光澤度計並沒有辦法符合量測角度  $60^\circ$  及最大光斑小於 4 mm 之條件需求。此外市售光澤度計機體本身體積相對待測物來說太大，無法在患者前牙處進行量測，如圖 7 所示。



圖 7. 市售光澤度計外型<sup>(14)</sup>。

本研究開發之微型光澤度計的光學設計，LED 點光源經過距離 6.43 mm 後，進入平凸透鏡轉為平行光束，此平行光束在 50 mm 距離後進入待測物表面，待測物表面反射光經過 50 mm 距離後，到平凸透鏡進行收光而進入感光元件。其中 LED 點光源 (波長 578.6 nm) 的頻譜符合 ISO 2813 規範。本研究開發厚度大於 10 mm，且光斑大小為可調整的光澤度計，光澤度量測角度設計為 60°，外型符合臨床操作需要，其鏡片將採用 N-SF11 材質，外徑 5 mm 之平凸透鏡且需進行鍍膜製程，入射光線路徑總長約為 58 mm，如圖 8 所示，其整體系統架構如圖 9 所示。

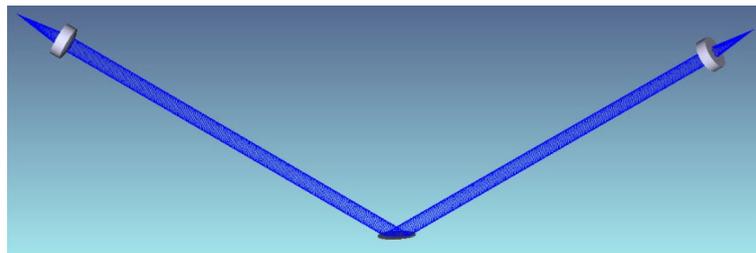


圖 8. 光澤度角度及量測表面光線路徑圖。

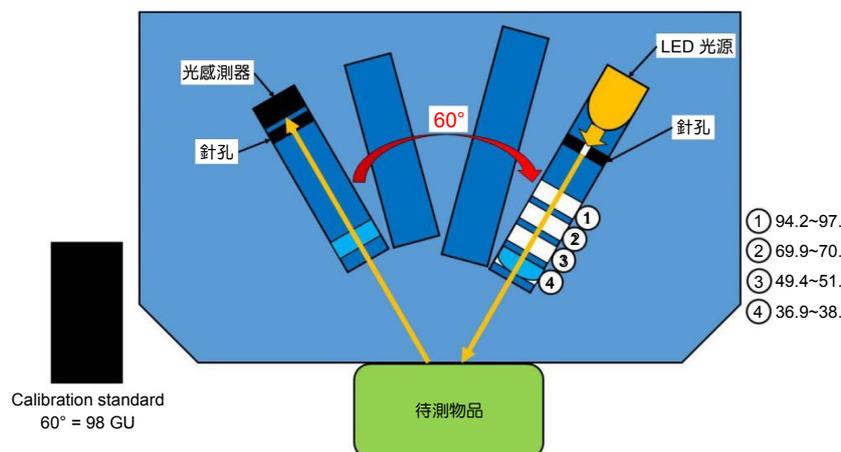


圖 9. 系統架構說明。

#### 四、結果與討論

本微型光澤度計之光學設計結果如圖 10 所示，發光二極體 (LED) 與平凸 (PCX) 球面透鏡 (厚度為 1.9 mm) 之間的距離為 6.430 mm。入射光穿過 M1 PCX 球面透鏡後，轉換為平行光束至待測物品。M1 PCX 透鏡與測試樣品 (氧化鋯牙冠) 之間的距離為 50 毫米。來自樣品牙冠表面的反射光以 50 mm 的距離到達 M2 PCX 鏡頭。開發之光澤度系統最大光斑大小為 3.8 mm，如圖 11 所示，入射光斑形狀為橢圓型，長軸長度為最大光斑尺寸。由於臨床上需求光斑大小為需要可以調整，因此設計上加入了可調變光圈，光圈調整範圍為 3.8 至 1 mm (如圖 12 所示)。本系統之感光元件尺寸大小為 2.4 mm × 2.4 mm，依據光學設計所有光線將會進入感光元件的收光範圍。

	Surf. type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-diameter
OBJ	Standard		Infinity	6.430		0.000
1	Standard		Infinity	1.900	N-SF11	0.864
*	Standard	45227	-5.890	50.000		2.500 U
3	Coordinat..			0.000	-	0.000
4*	Standard	MIRROR	Infinity	0.000	MIRROR	2.500 U
5	Coordinat..			-50.000	P -	0.000
6*	Standard		-5.890 P	-1.900 P	N-SF11 p	2.250 U
7	Standard		Infinity	-6.452	M	0.763
IMA	Standard		Infinity	-		0.017

圖 10. 微型光澤度計之光學模擬參數。

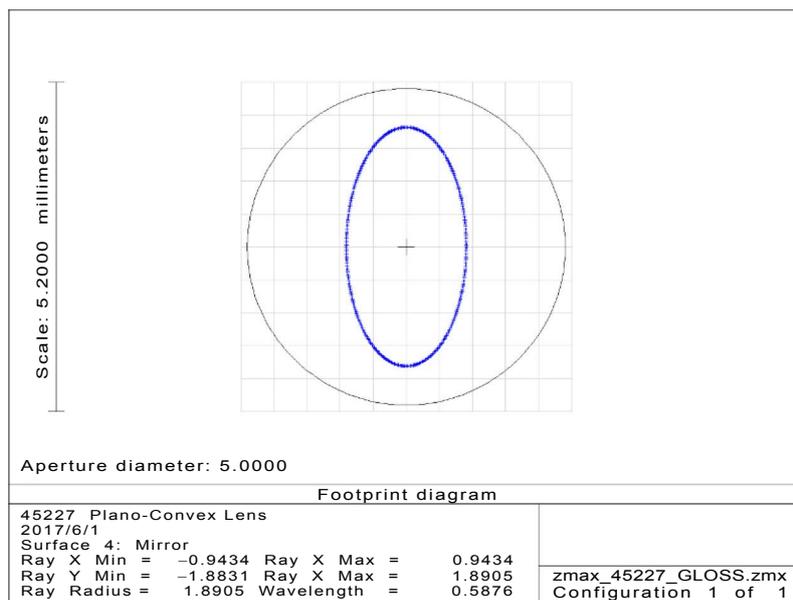


圖 11. 待測表面光斑大小。

依照上述光學設計的結果，再進一步進行機構設計，將各項元件與機構結合起來，如圖 13 所示。機構材質採用 6061 鋁合金板材，厚度為 2 mm，使用銑床將金屬板切割成六角型，光路部分的機構使用線切割成型，以確保光學元件間的相對位置。Pinholes 及 Iris 皆為市售商規零組件，若本研究整合市售零組件，僅需委製鏡片組及機構外觀，可以節省加工製造費用與開發時程。經組裝後以校正玻璃 (~98 GU) 進行實測，將 M1 PCX 透鏡分別置放於 1-4 號的位置 (圖 9) 量測 10 次，驗證光學設計結果。實驗結果顯示透鏡置放位置亦會影響光澤度計的讀值，同時確認本研究的光學模擬結果正確。當量測光澤度計之光通量  $\Phi_v$  [lm]，其計算公式如方程式 (1) 所示。

$$\Phi_v = K_M \cdot \int \Phi(\lambda) \cdot V_\lambda(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

其中  $K_M = 683 \text{ lm/W}$  為明視覺的最大光譜發光效率， $\lambda$  [nm] 為光波長， $\Phi(\lambda)$  [W/nm] 為光譜通量， $V_\lambda(\lambda)$  為光譜發光效率函數。對於鏡面光澤測量，文獻標準規定  $\Phi(\lambda)$  具有 CIE 標準

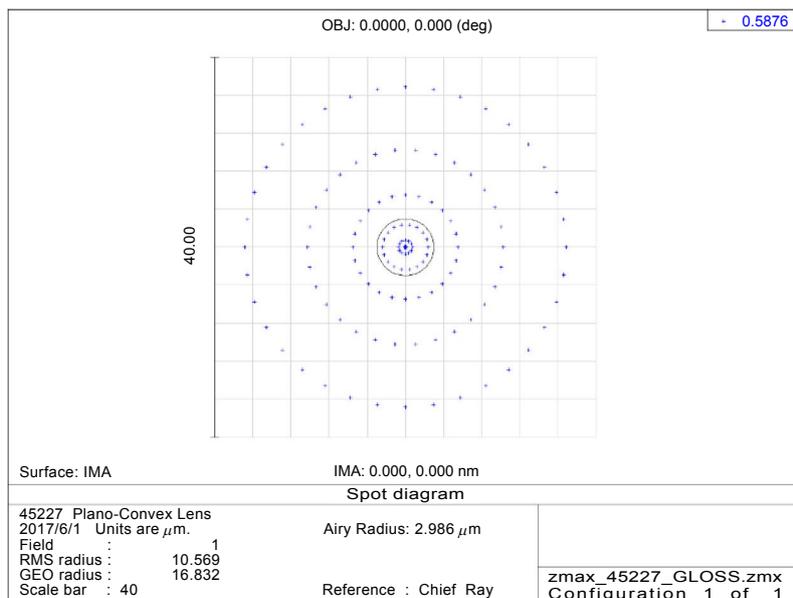


圖 12. 光學系統光斑圖及繞射極限大小。

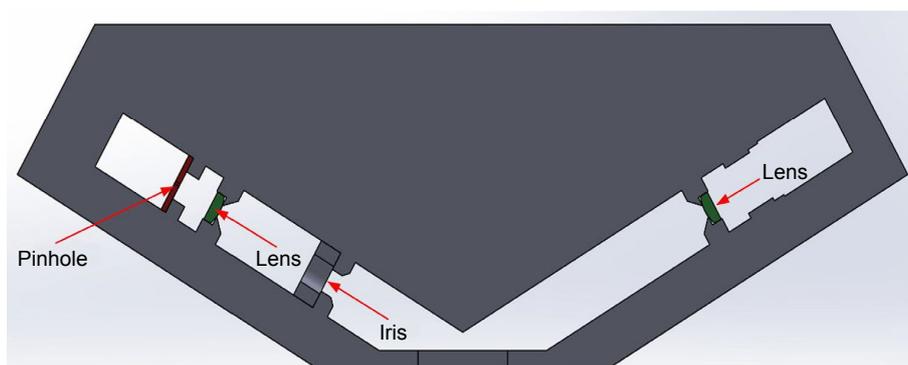


圖 13. 依照光學分析結果之機構設計。

光源  $C$  的光譜通量分佈，使得光譜通量為  $\Phi_C(\lambda)$ 。光澤度計具有接近的光譜通量  $\Phi(\lambda)$  和響應度  $V(\lambda)$ ，分別指定為  $\Phi_C(\lambda)$  和  $V_\lambda(\lambda)$ 。鏡面光反射率  $\rho_v(\theta_0)$  在標準照明角度  $\theta_0$  ( $20^\circ$ ， $60^\circ$  或  $85^\circ$ )，如下方程式 (2) 所示。

$$\rho_v(\theta_0) = \frac{\Phi_{v,r}(\theta_0)}{\Phi_{v,i}} \quad (2)$$

$\Phi_{v,r}(\theta_0)$  和  $\Phi_{v,i}$  分別是反射和入射光通量。在儀器和待測物體的幾何和光譜特性方面，光通量由下式 (3)、(4) 所示。

$$\Phi_{v,r}(\theta_0) = \int d\theta \int d\lambda \cdot \Phi_{c,i}(\theta, \lambda) \cdot \rho(\theta, \lambda) \cdot V_\lambda(\lambda) \cdot K_M \quad (3)$$

$$\Phi_{v,i} = \int d\lambda \cdot \Phi_{c,i}(\lambda) \cdot V_\lambda(\lambda) \cdot K_M \quad (4)$$

$\rho(\theta, \lambda)$  則是物體的鏡面光譜反射率。角度  $\theta$  是圍繞  $\theta_0$  的角度，由光源孔徑的有限尺寸產生。由於整個入射光束被接收器收集，所以對於  $\Phi_{v,i}$  沒有角度相依性。來自接收端的感測器

的電流  $I$ ，由下方程式 (5) 表示。

$$\begin{aligned} I &= \int \Phi(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \\ &= \int \Phi(\lambda) \cdot R \cdot V_\lambda(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot d\lambda \\ &\cong \frac{R}{K_M} \cdot \Phi_v, (lm \cdot A)/W \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $R [A/W]$  是感測器的響應， $r(\lambda)$  是光譜發光效率函數與感測器的實際光譜響應度之間的差異。電流被轉換成電壓  $N [V]$ ，由下方程式 (6) 表示。

$$N = I \cdot A \quad (6)$$

$A [V/A]$  是放大器增益。求解方程式 (5) 光通量並代入方程式 (2)，

$$\rho_v(\theta_0) = \frac{N_r}{N_i} \cdot \frac{A_i}{A_r} \quad (7)$$

下標  $i$  和  $r$  分別表示由入射和反射光通量產生的測量值。測試樣品在照度角  $\theta_0$ ， $G_t(\theta_0)$  下的鏡面光澤由下方程式 (8) 表示。

$$G_t(\theta_0) = G_s(\theta_0) \cdot \frac{\rho_{v,t}(\theta_0)}{\rho_{v,s}(\theta_0)} \quad (8)$$

$G_s(\theta_0)$  是主要標準的鏡面光澤度， $\rho_{v,t}(\theta_0)$  和  $\rho_{v,s}(\theta_0)$  分別是測試樣品和主要標準的鏡面發光反射率。將方程式 (7) 代入方程式 (8)，計算測試樣品和初級標準的發光反射率。

$$G_t(\theta_0) = G_s(\theta_0) \cdot \frac{N_{r,t}}{N_{r,s}} \cdot \frac{A_{r,s}}{A_{r,t}} \quad (9)$$

其將測試樣品的鏡面光澤度與主要標準的鏡面光澤度和來自測試樣品和初級標準的反射光通量的測量信號相關聯。主要標準的鏡面光澤度由下方程式 (10) 表示。

$$G_s(\theta_0) = G_0(\theta_0) \cdot \frac{\rho_s}{\rho_0(\theta_0, \lambda_D)} \quad (10)$$

其中  $G_0(\theta_0)$  是理論標準的鏡面光澤度， $\rho_0(\theta_0, \lambda_D)$  是波長  $\lambda_D = 589.3 \text{ nm}$  的理論標準的鏡面反射率， $\rho_s$  是初級標準的鏡面反射率。對於每個照明角度，理論標準的鏡面光澤定義為  $G_0(\theta) = 100$ 。

介質樣品表面的鏡面反射率  $\rho$  取決於相對於樣品的法線，波長  $\lambda$  和入射輻射通量的極化  $\sigma$  ( $p$  or  $s$ ) 定義的入射角  $\theta$ 。作為這些變量的函數的鏡面反射率由菲涅耳方程式 (11)、(12)，

$$\rho(\theta, \lambda, p) = \left[ \frac{n^2(\lambda) \cdot \cos \theta - \sqrt{n^2(\lambda) - \sin^2 \theta}}{n^2(\lambda) \cdot \cos \theta + \sqrt{n^2(\lambda) - \sin^2 \theta}} \right]^2 \quad (11)$$

$$\rho(\theta, \lambda, s) = \left[ \frac{\cos \theta - \sqrt{n^2(\lambda) - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{n^2(\lambda) - \sin^2 \theta}} \right]^2 \quad (12)$$

其中  $n$  是折射率。非極化入射輻射通量的鏡面反射率由下方程式 (13) 表示。

$$\rho(\theta, \lambda) = \frac{1}{2}[\rho(\theta, \lambda, p) + \rho(\theta, \lambda, s)] \quad (13)$$

從文件標準，理論標準的折射率波長  $\lambda_D$  為  $n(\lambda_D) = 1.567$ 。在理論標準  $\rho_0(\theta_0, \lambda_D)$  非偏振輻射通量的標準照明角下鏡面反射率由公式 (11) 至 (13)，其結果列於表 4。

表 4. 波長在  $\lambda_D = 589.3 \text{ nm}$  每個標準照射角理論光澤度標準鏡面反射率  $\rho_0(\theta_0, \lambda_D)$ 。

Illumination angle ( $^\circ$ )	$\rho_0(\theta_0, \lambda_D)$
20	0.049078
60	0.100056
85	0.619148

通常與表面光澤度討論的另一個相關方面是表面粗糙度。表面粗糙度是指物體表面的平坦度。表面粗糙度越小，表面越光滑。我們使用 Zemax<sup>®</sup> 軟體模擬表面粗糙度與氧化鋯牙冠光澤之間的相關性。模擬結果如圖 14 所示，氧化鋯牙冠的表面越粗糙，光反射率越低，這導致光澤度降低。因此，除了顏色外，牙冠的光澤度和表面的光滑度也是影響患者裝牙冠後整體美觀的關鍵因素。

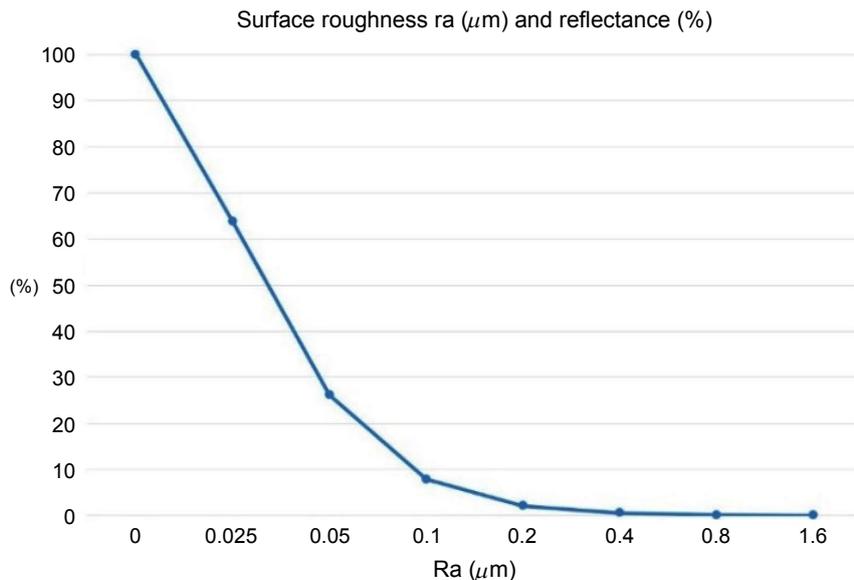


圖 14. 反射率與表面粗糙度之關係圖。

## 五、結論

牙科贗復物的基本目的是確保患者可以正確咀嚼，從而改善生活質量。除了牙醫的日常職責外，確保牙科贗復物具有合適的視覺美學，其重要性也相對增加。迄今為止，僅比色機和計算機輔助設計 (computer-aided design, CAD) 快速成型設備可用於生產氧化鋯牙科贗復物，與真正的牙齒相比沒有顏色差異。因此，透過本研究進行的光學模擬，我們開發並得到了一種光澤度計，其光斑可調尺寸為 1.0 至 3.8 mm，機身厚度在 15 mm 內。本系統用於測量成年患者牙齒的光澤度。在這項研究中，我們討論了透過此開發系統可得到牙科贗復物的

表面光澤度與表面粗糙度之間的關係，此結果可用來改善牙科贗復物的外觀質量，預計患者未來裝上的牙科贗復物與真牙可達到無差別狀態。

## 參考文獻

1. 牙齒美白治療指引手冊牙醫師專業版, 衛生福利部心理及口腔健康司, 請參見:  
<https://dep.mohw.gov.tw/domhaoh/cp-486-54049-107.html>
2. Spectro Shade Spectroshade micro II, please refer to the web site:  
<https://spectroshade.us/products/spectroshade-micro-ii>
3. ISO 2813:1994 Paints and varnishes -Determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees (1994).
4. ASTM D523 -14 Standard Test Method for Specular Gloss (2014).
5. ISO 7668:1986 Anodized aluminium and aluminium alloys -Measurement of specular reflectance and specular gloss at angles of 20 degrees, 45 degrees, 60 degrees or 85 degrees (1986).
6. JIS Z 8741:1997 Specular glossiness -Methods of measurement (1997).
7. ASTM C584 -81 (2011) Standard Test Method for Specular Gloss of Glazed Ceramic Whitewares and Related Products (2011).
8. ASTM D1455 -87 (2008) Standard Test Method for 60° Specular Gloss of Emulsion Floor Polish (2008).
9. ASTM D2457 -13 Standard Test Method for Specular Gloss of Plastic Films and Solid Plastics (2013).
10. ZEHNTNER ZGM 1120 Glossmeter, please refer to the web site:  
<https://igt.jp/zehntautom/zgm1120andintro%202019.pdf>
11. NIST Measurement Services: Specular Gloss, please refer to the web site: [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=841838](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=841838)
12. Nadal, M.E., Thompson, E.A., *Journal of Coatings Technology*, **72**, 61 (2000).
13. BYK Instruments micro-gloss of Checking Standard, please refer to the web site:  
[https://www.captainandcompany.com/pdf/micro-gloss\\_GB.pdf](https://www.captainandcompany.com/pdf/micro-gloss_GB.pdf)
14. Rhopoint Instruments Novo-Gloss 60 Glossmeter, please refer to the web site:  
[https://www.chung-tsang.com.tw/\\_i/assets/upload/files/Rhopoint\\_Novo\\_Gloss\\_Glossmeters%2020180403.pdf](https://www.chung-tsang.com.tw/_i/assets/upload/files/Rhopoint_Novo_Gloss_Glossmeters%2020180403.pdf)

## 作者簡介

張漢釗先生為英國諾丁漢特大學管理學博士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心研究員。

Han-Chao Chang received his Ph.D. in Management from Nottingham Business School, Nottingham Trent University. He is currently a research fellow at the Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.

徐名瑩先生為國立成功大學機械博士，現為國家同步輻射研究中心助理研究員。

Ming-Ying Hsu received his Ph.D. in Mechanical Engineering from National Cheng Kung University. He is currently an associate researcher at National Synchrotron Radiation Research Center (NSRRC).

汪硯雲女士為高雄醫學大學牙醫學系博士，現為高雄醫學大學牙醫學系助理教授。

Yen-Yun Wang received her Ph.D. from School of Dentistry of Kaohsiung Medical University. She is currently an assistant professor in School of Dentistry of Kaohsiung Medical University.

陳柔甄女士為南臺科技大學電子工程系碩士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心助理研究員。

Rou-Jhen Chen received her M.S. in Department of Electronic Engineering from Southern Taiwan University of Science and Technology. She is currently a research assistant at the Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.