بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

# خواص نوری لعاب زرین‌فام ایجاد شده روی ورقه‌ی مس

**طاهره یوسف زایی، مجید رشیدی هویه، رضا جبیری**

**گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان**

## چکیده

***لایه زرین‌فام از انواع لعاب‌های خاص با خصوصیات انعکاس فلزی می‌باشد. رنگ لعاب و ویژگی‌های نوری آن ناشی از دو پدیده تداخل نور و جذب پلاسمونی نور توسط نانوذرات فلزات نجیب موجود در لایه‌ی زرین‌فام است. در این پژوهش، خواص نوری لایه زرین‌فام ایجاد شده روی ورقه مس مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا طیف بازتاب نمونه ها در محدوده ی طول موج مرئی، اندازه گیری شد. سپس با توجه به نتایج حاصل از تصاویر FESEM، مدلی ارائه شد. با توجه به مدل مذکور پارامترهای مختلف نمونه‌ها، از جمله ضخامت لایه شیشه‌ای و کسر حجمی نانوذرات نقره به دست آمد. نتایج نشان داد که ضخامت لایه‌ی شیشه‌ای از ۳۰ تا 90 نانو متر متغیر است و کسر حجمی نقره ازمرتبه ۰،۰۱ درصد می‌باشد.***

**کلید واژه**- ***لعاب زرین‌فام، نانوذرات فلزات نجیب، نظریه ماکسول گرنت.***

# Optical properties of the lustre glaze produced on copper shield

Tahereh Usefzaei[1], Majid Rashidi Huyeh[2], Reza Jabiri[3]

Physics department, Faculty of sciences, University of Sistan and Baluchestan

1 th.usefzaie@gmail.com
2 majid.rashidi@phys.usb.ac.ir

Abstract-

Zarinfam is a specific glaze with metallic reflection. Its color and optical properties are due to two optical phenomena of light interference and Surface Plasmon Resonance (SPR) related to noble metal nanoparticles in the Zarinfam layer. In this communication, the optical properties of lustre glaze produced on the copper shield were studied. For this, first, the reflectance spectra of samples were measured in the visible domain. Then, a model was developed, thanks to FESEM images. Using this model, different sample parameters, spatially the glass thickness and silver volume fraction in the samples were evaluated. The results showed that the glass thickness varies from ۳۰ to 90 nanometer and the silver volume fraction is in 0.01 per cent of order.

Keywords: Lustre glaze, noble metal nanoparticles, Surface Plasmon Resonance



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

## مقدمه

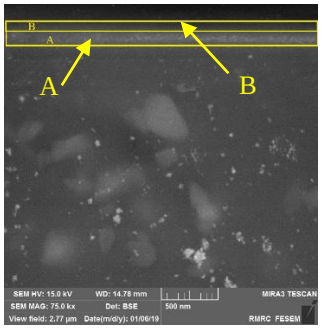
زرین‌فام از انواع لعاب‌های خاص با خصوصیات انعکاس فلزی می‌باشد. محققان ساخت این گونه لعاب‌ها را به قرون نهم و دهم میلادی در نواحی خاورمیانه (عراق، ایران، سوریه) و مدیترانه نسبت می‌دهند. بعدها در قرون یازدهم و دوازدهم مصری‌ها و سپس در قرن سیزدهم سوری‌ها تصمیم به ساخت لعاب‌های زرین‌فام نمودند. پس از آن در قرن چهاردهم ازطریق اسپانیا به اروپا، روسیه و شرق گسترش یافت و تا نیمه قرن بیستم ساخت لعاب زرین‌فام به طور سنتی اغلب روی ظروف و بعضی سطوح سرامیکی ادامه یافت [۱]. روش ساخت این گونه است که ابتدا ترکیبات نقره و مس به همراه مخلوطی از نمک‌های فلزی و خاک رس با هم مخلوط شده و روی بستر شیشه‌ای اعمال می‌شود. سپس نمونه‌ها در کوره احیایی تا دمای ۶۰۰ درجه پخت می‌شود. آنچه پس از پخت حاصل می‌شود، سطحی درخشان با جلای فلزی است که در مواردی اثر رنگین کمانی و تغییر رنگ در زوایای مختلف را نشان می‌دهد [۲]. در مرجع (۳) نحوه تولید مینای زرین‌فام روی ورقه مسی به تفصیل آمده است. در این تحقیق خواص نوری این لایه‌های زرین‌فام مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا بازتاب نمونه‌های تولیدی اندازه‌گیری شد و سپس با توجه به مدلی بر اساس تداخل بس‌پرتوی، پارامترهای مختلف نمونه‌ها از طریق برازش استخراج شد. لذا در این مقاله ابتدا نحوه تولید زرین‌فام‌ها به اختصار بیان می‌شود و سپس خواص نوری نمونه‌ها مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

## تولید زرین‌فام روی مس

به منظور تولید زرین‌فام، ابتدا لازم است که یک بستر شیشه‌ای روی ورقه مسی ایجاد شود که در اینجا از لعاب سفید میناکاری در صنایع دستی استفاده شد. مواد خام جهت ایجاد لایه زرین فام عبارت‌اند از : نیترات نقره، اکسید مس، اکسید آهن، سولفات جیوه، خاک رس و استیک اسید. لایه‌ای از مواد مذکور، پس از مخلوط کردن، روی لعاب سفید ایجاد شد. در نهایت نمونه‌ها در شرایط احیایی و در دمای حدود ۶۰۰ درجه پخت شدند. شکل ۱ نمونه‌هایی از زرین‌فام‌های تولید شده آمده است. تصاویر FESEM از مقطع نمونه‌های زرین‌فام بیانگر تشکیل نانوذرات نقره در عمق بستر لعاب سفید می‌باشد (تصویر ۲). همچنین این تصاویر نشان‌دهنده یک لایه‌ی شیشه‌ای روی سطح زرین فام است. در حقیقت رنگ زرین‌فام‌ها ناشی از وجود نانوذرات نقره و همچنین لایه شیشه‌ای روی سطح است [1].



شکل ۱- نمونه‌های زرین‌فام تولید شده.




**شکل ۲. تصویر FESEM از مقطع نمونه زرین‌فام. مکان A و B تعیین شده در شکل، به ترتیب بیانگر تشکیل نانوذرات نقره در بستر لعاب و ایجاد یک لایه دی‌الکتریک روی سطح نمونه می‌باشند.**

## طیف بازتاب

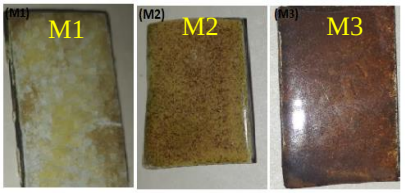
به منظور بررسی خواص نوری نمونه‌های زرین‌فام، طیف بازتاب سه نمونه از زرین‌فام (شکل ۳) و همچنین لعاب سفید اندازه‌گیری شد. نتایج در نمودارهای شکل (۴) نشان‌داده‌شده‌است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، طیف بازتابی لعاب سفید (منحنی سیاه) در تمامی طول موج‌ها مقدار ثابتی را نشان می‌دهد در حالی که طیف بازتابی نمونه‌های زرین‌فام افت و خیزهایی را نشان می‌دهد. این رفتار عمدتا به علت وجود لایه نازک شیشه‌ای روی سطح و همچنین لایه نازک حاوی نانوذرات نقره در بستر شیشه‌ای می‌باشد. تغییر رنگ لعاب در مکان‌های مختلف به علت تغییر ضخامت لعاب و همچنین تغییر ساختار لعاب به ویژه غلظت و اندازه نانوذرات در نقاط مختلف لعاب می‌باشد. از جمله کمینه مقدار مشاهده‌شده در طیف بازتابی نمونه به دلیل جذب نور



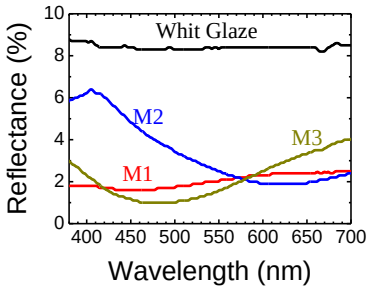
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

توسط نانوذرات نقره، به علت پدیده تشدید پلاسمون سطحی می‌باشد. در حقیقت، تشدید پلاسمون سطحی به علت نوسانات هماهنگ الکترون‌های آزاد نانوذرات نقره می‌باشد که منجر به جذب نور در فرکانسی تحت عنوان فرکانس تشدید پلاسمون سطحی می‌گردد که به شکل و ابعاد نانوذرات و همچنین محیط اطراف نانوذره دارد. در ادامه با توجه به ریزساختار مشاهده شده در تصاویر FESEM مدلی بر اساس تداخل بس‌پرتویی ارائه می‌شود.




شکل ۳- تصویر نمونه‌های تولید شده زرین‌فام روی لعاب سفید.

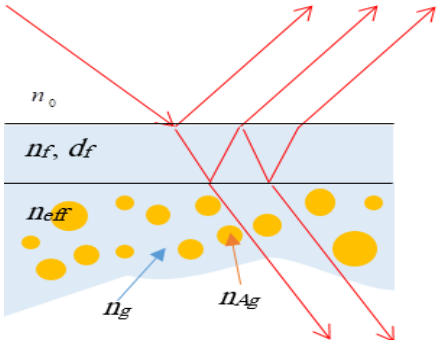



شکل ۴- طیف بازتابی لعاب سفید (منحنی سیاه) و نمونه‌های زرین‌فام.

## مدل

در این قسمت مدلی ابتدایی برای توصیف خواص نوری زرین‌فام ارایه خواهد شد. با توجه آنچه در بالا اشاره شد، ساختار زرین‌فام متشکل از یک لایه‌ی شیشه‌ای است که روی بستری از نانوذرات نقره محصور در بستر شیشه‌ای قرار دارد (شکل ۵) طیف بازتابی عمدتا ناشی از تداخل امواج بازتابی از سطح مشترک هوا- شیشه و شیشه- لایه حاوی نانوذرات نقره می‌باشد. به این ترتیب طیف بازتابی نمونه‌ها را می‌توان با توجه به تداخل امواج بازتابی از سطح لعاب به صورت معادله (۱) به دست آورد.

$$R = |\tilde{r}|^2 \qquad (۱)$$




شکل۵- طرح واره پیشنهادی لایه زرین‌فام، جهت شبیه سازی خواص نوری.

$r$ دامنه بازتاب می‌باشد که با در نظر گرفتن تداخل از لایه نازک سیلیسی طبق رابطه (2) به دست می‌آید [۴].

$$r = \frac{r_0 + r_1 e^{2i\beta}}{1 + r_0 r_1 e^{2i\beta}} \qquad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} n_f d_f \qquad (۲)$$

در این رابطه $r_0$ بیانگر دامنه بازتاب از سطح مشترک محیط- لایه نازک و $r_1$ بیانگر دامنه بازتاب از لایه نازک- زیر لایه متشکل از نانو ذرات محصور در محیط دی الکتریک شیشه‌ای است. $\beta$ اختلاف راه دو پرتو بازتابی متوالی از سطوح مشترک می‌باشد، $d_f$ ضخامت لایه نازک و $n_f$ ضریب شکست لایه نازک است. دامنه بازتاب $r_{ij}$ از فصل مشترک دو محیط $i$ و $j$ برای قطبش- های $s$ (موازی) و $p$ (عمودی) با توجه دامنه‌های فرنل عبارت است از:

$$(r_{ij})_s = \frac{n_i \cos\theta_i - \tilde{n}_j \cos\theta_j}{n_i \cos\theta_i + \tilde{n}_j \cos\theta_j}$$
$$(r_{ij})_p = \frac{\tilde{n}_j \cos\theta_i - n_i \cos\theta_j}{\tilde{n}_j \cos\theta_i + n_i \cos\theta_j} \qquad (۳)$$

که $n_i$ ، $n_j$ به ترتیب معرف ضریب شکست محیط iام و jام اهستند و $\theta_i$ ، $\theta_j$ به ترتیب بیانگر زوایای تابش و شکست می- باشند. خواص نوری نانوذرات نقره محصور در بستر شیشه‌ای، $\tilde{n}_{eff}$، با توجه به نظریه محیط موثر ماکسول-گرنت به دست آمد[۴]:

$$\tilde{n}_{eff} = \sqrt{\tilde{\varepsilon}_{eff}} = \sqrt{\varepsilon_g \frac{\tilde{\varepsilon}_{Ag}(1+2p) + 2\varepsilon_g(1-p)}{\tilde{\varepsilon}_{Ag}(1-p) + \varepsilon_g(2+p)}} \qquad (۴)$$

که $\tilde{\varepsilon}_{Ag}$ تابع دی‌الکتریک نقره، $\varepsilon_g$ تابع دی‌الکتریک بستر شیشه‌ای و $p$ کسر حجمی نانوذرات نقره می‌باشد.



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]

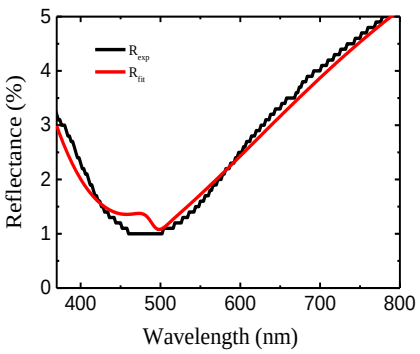
لازم به ذکر است که ضریب بازتاب از لعاب سفید با توجه به ضرایب فرنل در تابش عمودی عبارت است از:

$$R_0 = \left|\frac{1-n_s}{1+n_s}\right|^2 \qquad (۵)$$

که $n_s$ ضریب شکست لعاب سفید می‌باشد.

## نتایج و بحث

با توجه به نمودار بازتاب لعاب سفید (شکل ۴) مقدار $R_0$ مقدار ثابت ۸/۶ درصد می‌باشد. لذا با توجه به رابطه ۵ ضریب شکست لعاب سفید معادل ۱/۷۳ به دست می‌آید. لازم به توضیح است که ناهمواری‌های روی سطح موجب خطا در اندازه گیری $R_0$ و در نتیجه مقدار $n_0$ می‌شود. در ادامه داده‌های آزمایشگاهی حاصل از اندازه‌گیری طیف بازتابی نمونه‌ها با استفاده از معادله ۱ برازش شدند. در این برازش، پارامترهای آزاد عبارتند از: $d_f$، $n_f$، $p$ و $n_g$. در شکل (۶) نتایج حاصل از برازش طیف بازتابی نمونه (M3) آورده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود تطابق خوبی بین نتایج حاصل از برازش و نتایج تجربی وجود دارد. به خصوص کمینه ای در طول موج حدود ۴۸۰ نانومتر مشاهده می‌شود. این کمینه به علت جذب بر اثر تشدید پلاسمون سطحی می‌باشد. در جدول ۱ پامترهای حاصل از برازش برای نمونه‌ها آمده است.




شکل ۶- نمودار طیف بازتابی نمونه با استفاده از داده های آزمایشگاهی (نمودار سیاه) و داده های حاصل از برازش توسط مدل پیشنهادی (نمودار قرمز)

جدول۱. پارامترهای به دست آمده از برازش طیف بازتابی نمونه‌های انتخابی

| پارامتر | علائم اختصاری | M1 | M2 | M3 |
|---|---|---|---|---|
| ضخامت شیشه(nm) | $d_f$ | 98/23 | 98/23 | 37/32 |
| ضریب شکست شیشه | $n_f$ | 1/57 | 1/57 | 1/52 |
| ضریب شکست محیط پیرامون نانو ذرات | $n_g$ | 1/82 | 1/82 | 1/65 |
| کسر حجمی نانو ذرات(٪) | $p$ | 0/01 | 0/02 | 0/01 |

## مرجع‌ها

**[1]** Delhi Chabanne, Marc Aucouturier, Anne Bouquillon, Evelyne Darque-Ceretti, Sophie Makariou, et al. *Ceramics with metallic lustre decoration. A detailed knowledge of Islamic productions from 9thcentury until Renaissance*. 2008.

**[2]** Fahime Razavi1, Mahdi ghahari2, Majid Rashidi-Huyeh, *Journal of Color Science and Technology* **8**, (2014) 75-83.

[۳] یوسف زایی، *ط.، رشیدی هویه، م.، جبیری، ر. تهیه لایه زرین‌فام روی ورقه‌ی مسی. بیست و پنجمین گرد همایی فیزیک ماده چگال زنجان. ۱۳۹۸*

[۴] مصباحی نیا، ع.، رشیدی هویه، م.، شیردل هاور، م.، شفیعی آفارانی، م.، فرایند تشکیل نانو ذرات نقره و ذرات زیر میکرونی اکسید سرب در لعاب زرین‌فام دوره ایلخانی. موسسه پژوهشی علوم فناوری و رنگ، ۱۳۹۳.



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19 ]