



VẤN ĐỀ LỚP HOÀN THIỆN: CHẤT LÀM KHÔ KIM LOẠI NHƯ SỰ TÁI NHIỄM THUẬN TỪ QUY CHIẾU BỀ MẶT CỦA GỖ ĐÃ PHÂN CẤP TRUNG TÍNH



Vấn đề lớp hoàn thiện: Chất làm khô kim loại như sự tái nhiễm thuận từ quy chiếu bề mặt của gỗ đã phân cấp trung tính

A. Bosque, M. Ferro, L. Solder, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Tóm tắt

Một nghiên cứu đồng hành đã thiết lập cấp trung tính cho gỗ kết cấu, dựa trên hàm lượng thuận từ dư và được báo cáo dưới dạng phần khối lượng sắt-cộng-mangan so với đường cơ sở nghịch từ. Cấp đó là một tính chất của phôi gỗ thô. Bài báo này xem xét điều gì xảy ra khi phôi được hoàn thiện. Gần như mọi loại dầu, vec-ni và sơn mài dùng trên gỗ đều là lớp phủ đóng rắn oxy hóa, cứng lại không phải do bay hơi mà do phản ứng liên kết chéo tự oxy hóa của dầu khô được kim loại xúc tác, và chất xúc tác là một kim loại chuyển tiếp thuận từ -- thường nhất là cobalt hoặc mangan -- được lắng đọng dưới dạng muối carboxylate với hàm lượng bằng một phần nhỏ percent kim loại trong màng ướt. Vì màng nằm trên bề mặt ngoài, chất xúc tác được lắng đọng chính xác tại nơi giá đỡ tiếp xúc với cấp. Chúng tôi đo độ cảm từ thể tích quy chiếu bề mặt trên các phiến mẫu gỗ tech 5N trước và sau sáu cách xử lý hoàn thiện (đối chứng thô, dầu trẩu nguyên chất không có chất làm khô, dầu lanh đun sôi với octoate Co, vec-ni alkyd ngoài trời với Co + Mn + Zr, acrylic gốc nước và dầu sáp cứng) bằng từ kế mẫu rung và từ kế SQUID, kèm phân tích chiều sâu bằng phóng điện phát sáng để định vị kim loại. Các lớp hoàn thiện đóng rắn oxy hóa làm độ cảm trong 50 micromét trên cùng tăng từ đường cơ sở nghịch từ gần chỉ -6×10^{-6} lên các giá trị thuận dương, tái phân loại mọi phiến mẫu có xúc tác từ 5N xuống dưới 4N; trong mọi trường hợp kim loại chỉ nằm trong 50 đến 100 micromét trên cùng. Xu hướng chất làm khô không cobalt gần đây (các chất thay thế Mn, Fe và vanadium) giải quyết một vấn đề độc tính nhưng không giải quyết vấn đề từ tính, vì bản thân các chất thay thế cũng thuận từ. Chúng tôi kết luận rằng lớp hoàn thiện duy nhất bảo toàn cấp trung tính là không có lớp hoàn thiện, và lớp patina nguyên tố trên bề mặt -- sự oxy hóa bộ khung carbon của gỗ, không bổ sung kim loại -- là con đường lão hóa thẩm mỹ duy nhất tương thích với cấp này.

1. GIỚI THIỆU

Một phôi đã phân cấp trung tính đạt cấp bằng phép đo: quét thể vùi sắt từ, xác định độ cảm khối và định lượng kim loại vi lượng cùng xác nhận rằng gỗ chứa không quá số phần triệu sắt cộng mangan đã quy định, đồng thời độ cảm từ thể tích thuận vẫn nghịch từ. Gỗ tech trồng ở xích đạo đạt 5N ($\text{Fe} + \text{Mn} \leq 10 \text{ ppm}$) ngay khi giao và đạt 6N khi tuyển chọn từng phôi. Cấp này là thực, được chứng nhận theo từng đơn vị và hoàn toàn là một tính chất của gỗ khi rời xưởng.

Nghiên cứu nền tảng (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026), trong một mục kết thúc duy nhất, đã lưu ý rằng hoàn thiện gỗ sẽ phá hủy cấp và báo cáo một phép đo trước-sau trên phiến mẫu phủ dầu lanh đun sôi để minh họa. Nhận xét đó xứng đáng được dành nhiều hơn một đoạn. Khẳng định này trái trực giác: mọi thợ mộc đều hiểu lớp hoàn thiện là sự bảo vệ, và ý tưởng rằng lớp bảo vệ lại là điều có sức phá hủy từ tính lớn nhất có thể làm với vật liệu đỡ đi ngược một thế kỷ thực hành xưởng. Nếu khẳng định phải gánh sức nặng của một quyết định sản phẩm -- cung cấp giá đỡ chưa hoàn thiện, trái với mọi kỳ vọng của khách hàng về một vật bằng gỗ cao cấp -- thì nó cần được chứng minh định lượng, trên nhiều hóa học hoàn thiện, với kim loại gây nhiễm được định vị theo chiều sâu.

Đó là mục đích của bài báo này. Chúng tôi xem lớp hoàn thiện không như yếu tố thẩm mỹ bề mặt mà như một lớp kim loại xúc tác mỏng được cố ý lắng đọng, rồi hỏi chính xác nó đặt bao nhiêu khối lượng thuận từ và ở đâu. Câu trả lời bất lợi cho hoàn thiện nói chung và mang tính kết liễu đối với toàn bộ nhóm dầu và vec-ni đóng rắn oxy hóa đang thống trị đồ gỗ tinh xảo, vì một nguyên nhân không liên quan gì đến gỗ mà liên quan hoàn toàn đến hóa học làm màng cứng lại.

2. HÓA HỌC CHẤT LÀM KHÔ VÀ TẢI LƯỢNG KIM LOẠI

Dầu khô -- dầu lanh, dầu trẩu và các dẫn xuất alkyd của chúng -- cứng lại bằng tự oxy hóa: oxy khí quyền tách hydro khỏi các vị trí bis-allylic của chuỗi axit béo không bão hòa, tạo hydroperoxide rồi phân hủy thành gốc tự do và liên kết chéo dầu thành màng rắn. Nếu tự diễn ra, phản ứng này chậm và kéo dài nhiều tuần. Nó được tăng tốc bằng chất làm khô, còn gọi là siccative: carboxylate kim loại chuyển tiếp xúc tác cả bước tạo peroxide lẫn bước phân hủy peroxide qua một chu trình oxy hóa-khử giữa hai trạng thái oxy hóa. Chất làm khô sơ cấp cổ điển là cobalt, tuần hoàn giữa Co(II) và Co(III) ; mangan (Mn(II)/Mn(III)) hoạt động tương tự. Đây là các kim loại làm khô xuyên màng và làm khô bề mặt. Zirconium, calcium và zinc được thêm làm chất làm khô thứ cấp hoặc phụ trợ -- chúng không xúc tác bước oxy hóa-khử mà phối trí màng, cải thiện đóng rắn xuyên màng và ngăn hiện tượng tạo da bề mặt do cobalt nguyên chất gây ra.

Kim loại được đưa vào dưới dạng muối của axit hữu cơ mạch dài -- trong lịch sử là axit naphthenic (naphthenate), hiện phổ biến hơn là axit 2-ethylhexanoic (octoate) -- được chọn vì độ tan trong dầu, không phải vì bất kỳ tính chất nào của ion kim loại ngoài hóa học oxy hóa-khử. Muối được bán theo hàm lượng kim loại: naphthenate "6 percent cobalt" chứa 6 percent cobalt theo khối lượng chất làm khô lỏng. Trong lớp phủ hoàn thiện, kim loại làm khô sơ cấp thường được định lượng ở 0,02 đến 0,1 percent kim loại so với chất rắn dầu, cobalt ở đầu thấp của dải do hiệu lực cao còn mangan cao hơn đôi chút.



Các tỷ phần này nghe có vẻ không đáng kể, và trên mỗi đơn vị khối lượng lớp hoàn thiện thì đúng là vậy. Vấn đề là mật độ diện tích, không phải nồng độ. Một lớp dầu hoàn thiện quét bằng cọ lăn động khoảng 20 đến 40 g chất rắn trên mỗi mét vuông; ở 0,05 percent cobalt, con số đó tương đương 10 đến 20 mg cobalt trên mỗi mét vuông bề mặt. Một phôi gỗ tếch 5N có 10 ppm Fe + Mn, xét một khối đại diện 200 x 60 x 45 mm với mật độ 650 kg/m³, chứa khoảng 35 microgam kim loại gây nhiễm được phân cấp trong toàn bộ thể tích. Riêng lớp hoàn thiện trên mặt đỉnh đã lăn động vài trăm microgam kim loại thuận từ -- nhiều hơn một bậc độ lớn so với lượng chất nhiễm cho phép trong toàn phôi, lại nằm trong lớp dày vài micromét trên bề mặt đặt cáp. Cấp được xác định để kiểm soát số phần triệu thuận từ; lớp hoàn thiện đánh bại nó không phải vài percent mà theo một hệ số.

3. THÍ NGHIỆM: ĐỘ CẢM QUY CHIẾU BỀ MẶT TRƯỚC VÀ SAU HOÀN THIỆN

Chúng tôi chuẩn bị 36 phiến mẫu (60 x 60 x 8 mm) từ một phôi gỗ tếch xích đạo 5N duy nhất, được ICP-MS xác minh ở 7 ppm Fe + Mn, để mọi phiến mẫu dùng chung một nền và mọi khác biệt sau hoàn thiện chỉ có thể quy cho lớp phủ. Các phiến mẫu được chia thành sáu nhóm, mỗi nhóm sáu mẫu, cho sáu cách xử lý: (A) đối chứng thô chưa hoàn thiện; (B) dầu trẩu nguyên chất, không chất làm khô, đóng rắn 21 ngày; (C) dầu lanh đun sôi với octoate cobalt (0,05 percent Co); (D) véc-ni alkyd ngoài trời với gói Co + Mn + Zr (0,04 percent Co, 0,06 percent Mn, 0,20 percent Zr); (E) phân tán acrylic gốc nước (không có chất làm khô oxy hóa); và (F) dầu sáp cứng thương mại (dầu lanh và carnauba, xúc tác cobalt). Mọi cách xử lý tạo màng đều được phủ hai lớp ở mức kiểm soát 30 g/m² mỗi lớp và đóng rắn đến độ cứng thao tác.

Vì chất nhiễm là một lớp bề mặt còn phiến mẫu là vật thể khối, phép đo độ cảm toàn mẫu pha loãng tín hiệu qua 8 mm gỗ nghịch từ và làm nó thấp hơn thực tế. Do đó, chúng tôi báo cáo độ cảm quy chiếu bề mặt theo hai cách. Thứ nhất, độ cảm từ thể tích thuần của toàn phiến bằng từ kế mẫu rung (Lake Shore 8600, 300 K), ghi lại thay đổi tích phân. Thứ hai, một số liệu lớp bề mặt thu được bằng cách đo lát song song mặt dày 200 micromét, được cắt bằng microtome từ bề mặt hoàn thiện rồi gá lại và đo trên từ kế SQUID (Quantum Design MPMS3) để có độ nhạy mà lát mỏng đòi hỏi. Giá trị quy chiếu bề mặt mới là đại lượng quan trọng, vì đó là phần gỗ cấp thực sự tiếp xúc.

Kết quả không mơ hồ. Mẫu đối chứng thô (A) giữ đường cơ sở nghịch từ, toàn phiến chỉ $\chi_v = -5.9 \times 10^{-6}$, lát bề mặt -6.1×10^{-6} . Các cách xử lý không chất làm khô (B, dầu trẩu nguyên chất; E, acrylic) không thể phân biệt thống kê với đối chứng ở cả hai quy mô -- bỏ qua hằng số điện môi, chúng không thêm kim loại thuận từ và không làm đổi cấp. Ba lớp hoàn thiện đóng rắn oxy hóa có xúc tác (C, D, F) đều đẩy lát bề mặt lên thuận dương: dầu lanh đun sôi lên $+2.3 \times 10^{-6}$, dầu sáp cứng lên $+1.9 \times 10^{-6}$ và véc-ni ngoài trời Co + Mn + Zr lên xa nhất, $+4.8 \times 10^{-6}$. Khi quy chiếu về lớp bề mặt tiếp xúc với cáp, mọi phiến mẫu có xúc tác đều đi từ nghịch từ sang thuận từ và được tái phân loại từ 5N xuống dưới 4N. Giá trị VSM toàn phiến dịch chuyển cùng hướng nhưng bị giảm do pha loãng khối -- chính vì thế phép đo khối của giá đỡ đã hoàn thiện tăng bốc lớp hoàn thiện còn phép đo quy chiếu bề mặt kết tội nó.

4. PHÂN TÍCH CHIỀU SÂU: KIM LOẠI NẴM Ở Đâu

Thay đổi độ cảm cho biết có kim loại; nó không cho biết kim loại ở đâu. Đối với vật liệu đỡ, phân bố chiều sâu không phải chuyện phụ, vì độ ghép với cáp giảm nhanh theo khoảng cách và một chất nhiễm chôn sâu 2 mm ít liên quan về điện từ hơn nhiều so với cùng khối lượng nằm trong vài micromét đầu tiên. Chúng tôi lập hồ sơ các phiến mẫu hoàn thiện bằng quang phổ phát xạ quang phóng điện phát sáng tần số vô tuyến (GD-OES, Horiba GD-Profilier 2), phương pháp phún xạ bề mặt ở khoảng 2 đến 3 micromét mỗi giây trong khi theo dõi phát xạ Co, Mn, Zr và Fe, được đối chiếu trên các phiến mẫu chọn lọc bằng phân đoạn chiều sâu ICP-MS bào mòn laser.

Trong mọi phiến mẫu đóng rắn oxy hóa, kim loại xúc tác chỉ nằm trong lớp phủ và phần gỗ ngay bên dưới. Phát xạ cobalt và mangan đạt đỉnh ở bề mặt, duy trì suốt độ dày màng 30 đến 70 micromét, rồi giảm hơn một bậc độ lớn qua 20 đến 40 micromét tiếp theo khi hồ sơ đi vào gỗ chưa thấm, chạm nền 7 ppm của chất nền ở khoảng 100 micromét trong trường hợp tệ nhất (dầu lanh đun sôi độ nhớt thấp, thấm vào lỗ rỗng bề mặt) và ở 60 micromét đối với véc-ni nhớt hơn. Khi tích phân, hơn 90 percent kim loại thuận từ đã lăn động nằm trong 100 micromét trên cùng, phần lớn nằm trong 50 micromét trên cùng. Zirconium bám theo cobalt và mangan theo chiều sâu nhưng, vì gần như không thuận từ trong phối trí này, nó đóng góp vào hồ sơ mà không đóng góp vào độ cảm -- một phép kiểm tra nội bộ hữu ích xác nhận tín hiệu từ đi theo Co và Mn chứ không theo tổng lượng kim loại.

Đây là phân bố tệ nhất có thể về mặt hình học đối với giá đỡ cáp. Cấp trung tính được xây dựng trên tiền đề rằng phần gỗ tiếp xúc với dây dẫn là nghịch từ; lớp hoàn thiện đảo ngược tiền đề bằng cách nạp kim loại thuận từ vào đúng lớp da 50 đến 100 micromét tạo thành giao diện tiếp xúc, trong khi để lõi sâu, không liên quan về điện từ của khối sạch như trước. Xét về từ tính, một giá đỡ đã hoàn thiện là một tấm thuận từ mỏng bọc quanh phôi trung tính, đưa mặt có kim loại ra phía cáp.

5. XU HƯỚNG CHẤT LÀM KHÔ KHÔNG COBALT KHÔNG GIÚP ÍCH

Octoate cobalt đang chịu áp lực pháp quy. Các muối cobalt của axit 2-ethylhexanoic được phân loại hài hòa là chất nghi gây ung thư và độc sinh sản, và ngành lớp phủ đã đầu tư mạnh vào chất làm khô không cobalt trong thập kỷ qua. Các chất thay thế thuộc ba họ: phức mangan (thường với phối tử bipyridine hoặc aminomethyl giúp nâng hoạt tính Mn lên mức tương tự



cobalt), phức sắt (sắt với phối tử cho nitrogen chuyên dụng, được tiếp thị như chất làm khô sơ cấp thay thế trực tiếp hiệu suất cao) và hệ vanadium. Cả ba được quảng bá là an toàn hơn, và với mục đích dự kiến -- thay chất xúc tác độc bằng chất lành tính ở cùng tốc độ khô -- một số thực sự thành công.

Đối với mục đích của chúng tôi, chúng không thành công ở điểm nào. Mangan, sắt và vanadium đều thuận từ; sắt và mangan là đúng hai nguyên tố mà cấp trung tính được xác định cụ thể để loại trừ. Thay octoate cobalt bằng chất làm khô sắt hoặc mangan không loại bỏ kim loại thuận từ khỏi màng bề mặt -- nó thay một kim loại thuận từ bằng một kim loại khác, và trong trường hợp sắt là thay bằng chất nhiễm bị phạt nặng nhất trên thang cấp. Chúng tôi hoàn thiện thêm một nhóm phiên mẫu gỗ tếch bằng chất làm khô sắt-bipyridine thương mại ở tải lượng do nhà sản xuất khuyến nghị và đo lát bề mặt ở $+3.1 \times 10^{-6}$, tương đương kết quả dầu lạnh đun sôi với cobalt và, vì kim loại là sắt chứ không phải cobalt, có thể còn tệ hơn đối với một cấp lấy hàm lượng sắt làm trục chính. Chất làm khô mangan-neodecanoate cho $+2.6 \times 10^{-6}$.

Bài học là xu hướng không cobalt tối ưu hóa một mục tiêu độc tính trực giao với mục tiêu từ tính. Không có hóa học chất làm khô đóng rắn oxy hóa nào, hiện tại hay có thể thấy trước, làm cứng dầu khô mà không cần kim loại chuyển tiếp hoạt tính oxy hóa-khử, và mọi kim loại chuyển tiếp hoạt tính oxy hóa-khử đủ rẻ, đủ sẵn để dùng làm chất làm khô đều thuận từ. Ngành hoàn thiện sẽ không giải quyết vấn đề này, vì theo quan điểm của họ không có vấn đề nào cần giải quyết: một chất làm khô trung tính từ sẽ là giải pháp đi tìm một thị trường mà hiện nay chỉ gồm riêng chúng tôi.

6. THẢO LUẬN: NHỮNG LỰA CHỌN CÒN LẠI

Nếu loại trừ lớp hoàn thiện đóng rắn oxy hóa vì lý do từ tính, về hình thức vẫn còn ba nhóm lớp phủ không kim loại: dầu khô không chất làm khô, màng gốc nước khô vật lý và kết tụ, cùng sơn mài bay hơi thực sự. Dầu trẩu không chất làm khô (xử lý B) và phân tán acrylic (xử lý E) của chúng tôi xác nhận rằng chúng không thêm kim loại thuận từ và giữ nguyên cấp. Tuy nhiên, đây là các lớp hoàn thiện kém cho vật thể cụ thể này. Dầu không chất làm khô trên một giá đỡ phải đóng rắn hoàn toàn trước khi chịu áp suất nhiều tuần để cứng và vẫn mềm vĩnh viễn đủ để giữ kim loại bề mặt từ kẹp cấp và thao tác thông thường -- nó biến giá đỡ thành bộ thu thụ động của chính chất nhiễm mà cấp loại trừ. Acrylic gốc nước bít kín gỗ nhưng nâng hằng số điện môi bề mặt và hệ số tổn hao lên cao hơn nhiều so với gỗ tếch trần, đối vấn đề từ mà cấp cấm lấy vấn đề điện môi mà nghiên cứu đồng hành cũng phạt.

Nói cách khác, mọi lớp hoàn thiện hoặc thêm kim loại thuận từ (các dầu và véc-ni đóng rắn oxy hóa, toàn bộ nhóm truyền thống), hoặc làm suy giảm bề mặt điện môi (màng gốc nước), hoặc không đóng rắn đủ cứng để chống tái nhiễm trong sử dụng (dầu không chất làm khô). Không lớp nào cải thiện bề mặt đã phân cấp, và mỗi lớp đều là một bước thực hiện sau khi gỗ đã vượt qua mọi phép thử mà cấp yêu cầu. Lớp hoàn thiện chỉ có thể trừ khỏi cấp mà phối thô đang có; không lớp phủ nào có thể cộng thêm, bởi đại lượng được phân cấp là sự vắng mặt của một thứ, còn lớp phủ theo định nghĩa là một phần bổ sung.

Điều này định nghĩa lại giá đỡ chưa hoàn thiện, từ một cách tiết kiệm chi phí hoặc khắc khổ thẩm mỹ thành lựa chọn duy nhất phù hợp với phép đo. Phối được tuyển chọn, quét, lấy lỗi, phân hủy, định lượng và chứng nhận theo một con số phần triệu thuận từ; sau đó quét dầu xúc tác cobalt lên mặt làm việc là tiêu hết toàn bộ quy trình ấy rồi đảo ngược nó ở bước cuối cùng, tại vị trí hoạt động điện từ mạnh nhất, để đối lấy một màng có vẻ ngoài.

7. KẾT LUẬN

Hoàn thiện gỗ tái nhiễm nó về từ tính, và tái nhiễm ngay tại bề mặt, vì hóa học làm cứng lớp hoàn thiện truyền thống là tự oxy hóa xúc tác kim loại còn chất xúc tác là kim loại chuyển tiếp thuận từ lắng đọng trong màng. Chúng tôi đo trực tiếp hiệu ứng: trên một chất nền gỗ tếch 5N duy nhất, mọi lớp hoàn thiện đóng rắn oxy hóa -- dầu lạnh đun sôi với cobalt, véc-ni ngoài trời Co + Mn + Zr và dầu sáp cứng với cobalt -- đều đẩy độ cảm từ thể tích quy chiếu bề mặt từ đường cơ sở nghịch từ gần -6×10^{-6} lên các giá trị thuần dương cao đến $+4.8 \times 10^{-6}$, tái phân loại bề mặt đã phân cấp từ 5N xuống dưới 4N, với hơn 90 percent kim loại thuận từ lắng đọng chỉ nằm trong 100 micromét trên cùng tiếp xúc trực tiếp với cấp. Dầu không chất làm khô và màng gốc nước không thêm kim loại nhưng không phù hợp với vật thể vì những lý do khác; xu hướng chất làm khô không cobalt thay bằng sắt, mangan hoặc vanadium và vì thế loại bỏ một độc chất mà không loại bỏ một đơn vị nhiễm thuận từ nào.

Kết luận hẹp và dứt khoát. Lớp hoàn thiện duy nhất bảo toàn cấp trung tính của gỗ là không có lớp hoàn thiện. Bề mặt chưa hoàn thiện oxy hóa và ngả xám theo thời gian, nhưng lớp patina ấy là sự oxy hóa nguyên tố của bộ khung carbon trong gỗ và không thêm kim loại; đó là thay đổi thẩm mỹ và không phải sự kiện từ tính. Vì vậy, Equatorial Elevation Block được giao và sẽ tiếp tục được giao ở trạng thái chưa hoàn thiện -- không phải vì bỏ lớp hoàn thiện để tiết kiệm một bước, mà vì phủ nó lên sẽ tiêu hết toàn bộ cấp để mua một lớp bóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Soucek, M. D., Khattab, T., Wu, J. (2012). Tổng quan về tự oxy hóa và chất làm khô. Progress in Organic Coatings, 73(4), 435-454.



- [2] Erich, S. J. F., Laven, J., Pel, L., Huinink, H. P., Kopinga, K. (2006). Phân bố xạ phòng kim loại và quá trình làm khô xúc tác của lớp phủ alkyd nghiên cứu bằng ảnh NMR. *Progress in Organic Coatings*, 55(2), 105-113.
- [3] Micciche, F., van Haveren, J., Oostveen, E., Ming, W., van der Linde, R. (2006). Lớp phủ gốc dầu và việc thay chất làm khô cobalt bằng phức mangan và sắt. *Applied Catalysis A: General*, 297(2), 174-181.
- [4] van Gorkum, R., Bouwman, E. (2005). Quá trình khô oxy hóa của sơn alkyd được phức kim loại xúc tác. *Coordination Chemistry Reviews*, 249(17-18), 1709-1728.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Phân cấp độ trung tính từ của gỗ kết cấu: Hệ phân loại độ tinh khiết cấp N cho vật liệu đồ âm thanh. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(2), 44-71.
- [6] Solder, L., Bosque, A. (2026). Phân tích chiều sâu bằng phóng điện phát sáng đối với nhiễm thuận từ quy chiếu bề mặt trong các phiên mẫu gỗ cứng đã hoàn thiện. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-104.