

Development of an Optical Measurement System for the Authenticity of Paintings

Seonhee Hwang¹, Hyerin Song², and Kyujung Kim^{1,2,3†}

¹Department of Advanced Integrated Circuit, Pusan National University, Busan 46241, Korea

²Department of Cogno-Mechatronics Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

³Department of Optics and Mechatronics Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

(Received January 2, 2017; Revised manuscript March 28, 2017; Accepted April 12, 2017)

In this paper, we have designed an optical measurement system for authenticity of paintings. Using a simple and compact optical measurement system, the surface characteristics of paintings could be measured, and we obtained information about paintings. First, the paintings that were painted in various colors could give characteristic information on the color of paintings. Second, tomographic information about the surface of a painting could be obtained, using a line laser. To assess the reliability of the optical measurement system, forgeries looking like the originals were created, and we could distinguish the originals from the forgeries through experiment. Thus, we could obtain data about the paintings and create a numerical database.

Keywords: Authenticity, Optical system, Painting, Database

OCIS codes: (120.4820) Optical systems; (120.6660) Surface measurements, roughness; (330.1710) Color, measurement

광학을 이용한 미술품의 표면측정시스템 제작 및 광학적 특성분석을 통한 진위감정

황선희¹ · 송혜린² · 김규정^{1,2,3†}

¹부산대학교 차세대전자기관회로학과,
☎ 46241 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

²부산대학교 인지메카트로닉스공학과
☎ 46241 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

³부산대학교 광메카트로닉스공학과
☎ 46241 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

(2017년 1월 2일 받음, 2017년 3월 28일 수정본 받음, 2017년 4월 12일 게재 확정)

본 논문에서는 미술품의 광학적 특성을 분석하여 진위감정을 할 수 있는 시스템을 제작해보았다. 기존의 진위감정방법들보다 간단하고 정확한 광학적 진위감정시스템을 이용하여 미술품의 표면을 측정하고 정보를 얻고자 하였다. 첫 번째로 백색광을 이용하여 다양한 색이 칠해져 있는 미술품 표면의 고유한 색상정보를 확인하였다. 두 번째로는 라인레이저를 이용하여 미술품이 가진 표면형상에 대한 정보를 확인하였다. 진위감정시스템의 신뢰성을 평가하기 위해 진작과 비슷한 위작을 제작하여 실험을 진행해 본 결과, 진작과 위작이 서로 다른 데이터를 보여줌으로써 진작으로부터 위작을 쉽게 감별할 수 있었다.

Keywords: 진위감정, 광학 시스템, 미술품, 데이터베이스

OCIS codes: (120.4820) Optical systems; (120.6660) Surface measurements, roughness; (330.1710) Color, measurement

I. 서 론

현대사회에 들어서면서 사람들의 생활수준이 향상됨에 따라 예술에 대한 관심 또한 매우 높아졌다. 따라서 미술품의 경제적·사회적 가치도 높아졌고, 재테크 수단으로도 발전되

었다^[1-4]. 가치 있는 미술작품들을 거래하기 위해 거대한 경매 시장도 형성되어있다. 시간이 지날수록 미술품의 가치는 나날이 증가하고 있는데, 특히 유명 화백들의 작품은 그 가치가 매우 뛰어나기 때문에 많은 사람들이 비싼 가격에도 불구하고 작품을 사고자 한다. 그러나 이러한 사람들의 심리를

†E-mail: k.kim@pusan.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

이용하여 유명 작품들과 비슷하게 제작하고 속여서 비싼 값에 판매하는 사건들도 발생하게 되었다⁵⁾. 따라서 진위감정에 관련된 사건들이 전세계적으로 문제가 되고 있다. 위작은 계속해서 제작되고 있기 때문에 미술품의 진위감정은 더욱 중요하게 생각된다⁶⁻¹⁰⁾. 실제로 작품의 진위감정을 위해 다양한 방법들이 사용되고 있는데, 크게 2가지로 나누어볼 수 있다. 미술품의 진위를 판단하는 방법에는 감정가의 안목을 의한 주관적인 감정인 ‘안목감정’과 과학적인 장비를 동원한 객관적인 ‘과학감정’의 방법이 있다. 주관적인 감정의 경우에는 감정가의 주관적 생각과 안목을 위주로 판단하기 때문에 전문성과 윤리성 등의 문제가 생기기도 한다⁷⁾. 또한 겉으로 볼 때는 진위를 판단하기 어려운 작품들이 대다수 생겨났기 때문에 객관적이고 과학적인 분석을 요구하는 사건이 많이 생겨났다. 그래서 2002년에 ‘한국미술품감정평가원’이라는 단체가 설립되었고, 시료분석, 주사전자현미경(SEM), X-ray 투시조사, 적외선 카메라, 연대측정기 등의 여러 과학 장비들을 사용하여 미술품에 대한 진위여부를 판단하고 있다¹¹⁻¹⁸⁾. 주사전자현미경(SEM)을 이용하면 재료의 표면형상, 적층 결합, 계면 등을 관찰 할 수 있지만 이는 측정을 위해 미술품에 손상을 입혀야 하고 국소부위의 정보를 얻는다는 단점이 있다^{12,19)}. 탄소 동위원소 반감기를 이용하면 미술품의 대략적인 제작연도를 알 수 있지만 이는 오차범위가 50년 정도로 매우 크다는 단점이 있다¹²⁾. X-ray를 이용한 투시조사나 적외선 카메라를 통한 측정은 미술품의 보이지 않는 내부를 볼 수 있기 때문에 화가가 지닌 필치와 내부 수정부분 등을 알 수 있어 가장 많이 사용되고 있는 진위감정방법이다¹⁷⁾. 하지만, 이는 내부의 단편적인 정보만을 제공한다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 광학을 이용하여 작품의 손상을 최소화시키면서 더욱 정확하고 간단하게 측정함으로써 미술품의 진위여부를 판단할 수 있는 시스템을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 미술품 진위 판별을 위해 간소화된 검증 방법으로 두 가지의 요소를 위주로 하여 진작으로부터 가작을 판별하고자 하였다. 두 가지 요소에는 색감과 표면 형상이다. 이를 위해 본 연구에서는 두 가지의 광원(백색광과 라인레이저)을 이용하여 측정시스템을 제작하였다. 백색광을 이용하면 미술품 표면의 색에 따라 빛이 흡수되거나 반사되는 세기가 달라지는 것에 착안하여 반사스펙트럼을 측정하고 분석하였다^{20,21)}. 또한 라인레이저를 이용하여 미술품 표면형상의 이미지 데이터를 측정하고 분석하였다. 분광기와 CCD 카메라를 이용하여 눈으로는 판단하기 힘든 마이크로 단위의 작품의 정보를 얻었다. 본 연구에서 제시한 시스템을 통해서 진작과 위작을 쉽게 구별할 수 있음을 확인하였다.

II. 실험

본 실험에서는 미술품의 색상정보 및 표면형상데이터를 얻기 위해 다음과 같이 시스템을 제작하였다(그림 1). 백색광과 라인레이저, 두 가지의 광원을 이용하여 미술품 표면에서 정보를 얻고자 하였다. 실험샘플로는 유채화를 사용하였다.

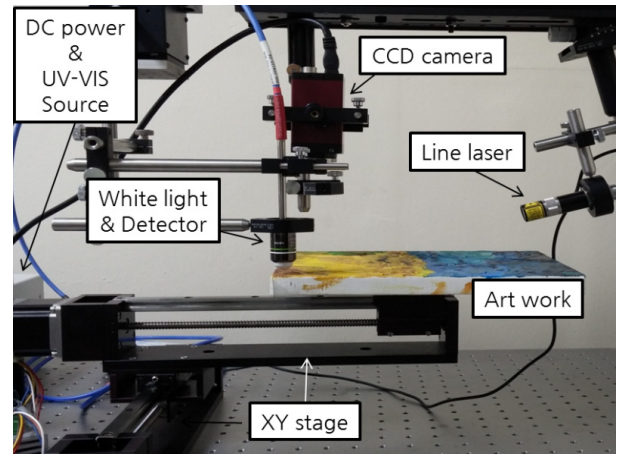


Fig. 1. Schematic picture of the optical measurement system.

유채화는 매우 다양한 색을 만들 수 있는 유채물감을 사용하고, 물감의 두께 및 붓 칠에 따라 표면의 거칠기가 매우 다르게 표현된다. 미술품의 전체 데이터를 얻기 위해서 X축과 Y축으로 작품을 이동시킬 수 있는 스테이지(linear 300 mm XY-Robot stage, 사이언스타운)를 이용하였다. 프로그램 제어를 통해 특정 구동속도로 스테이지를 구동시킬 수 있다.

백색광을 이용한 색상정보 획득: 각각의 작품들은 그 자체로 다양하고 고유한 색을 지니고 있기 때문에 그 색상들이 미술품을 나타낼 수 있다. 미술품의 색상정보를 얻기 위해 백색광(DH-2000-BAL, Ocean Optics, Inc.)을 이용하여 빛을 입사시켰다. 백색광은 모든 가시광선영역대의 빛을 포함하고 있고 그 중에서 빛의 3원색인 초록색, 파란색, 빨간색의 반사 빛만 검출하여 그 세기와 비율을 알아보았다. 검출기로는 분광기(USB 4000, Ocean Optics, Inc.)를 이용하여 미술품의 표면에서 반사된 빛을 검출할 수 있도록 하였다. 백색광을 입사시키고 동시에 백색광을 입사시키고 동시에 분광기로 빛을 검출할 수 있는 광 파이버를 이용하여 좀 더 간편하고 정확하게 시스템을 제작하였다. 또한 보다 정확한 진위감정을 위해 국소부위의 정보를 얻을 수 있도록 렌즈(UPLFLN 20X, Olympus)를 이용하여 입사빔 사이즈를 줄여주었다.

라인레이저를 이용한 표면형상데이터 획득: 미술품의 표면에서 나타나는 고유한 표면형상에 관한 정보를 얻기 위해 라인레이저를 이용하였다. 638 nm 파장을 가지는 라인레이저(Z10M18B, Z-laser)를 미술품에 입사시키면 작품의 표면형상에 따라 빛이 반사되거나 산란된다. 표면의 형상에 따라 다양하게 반사된 이미지를 볼 수 있다. 이러한 표면형상을 관찰하기 위해 CCD 카메라(Pike F505B, Allied Vision Tech.)를 이용하여 정보를 얻는다.

III. 결과 및 고찰

그림 2는 본격적인 실험을 진행하기 전에 예비실험을 진행해본 결과이다. 그림 2(a)는 백색광에 의해 반사된 색들이 각각 다른 결과를 보여주는지 알아보기 위해 다양한 색이 칠해

저있는 유채화를 스캔해본 결과이다. 유채화의 색이 변함에 따라 파란색(470 nm), 초록색(546 nm), 빨간색(632 nm)의 세기도 위치에 따라 변하는 것을 관찰할 수 있었다. 스캔영역이 파란색구간에서 노란색 영역으로 변하면서 검출된 빛의 세기와 비율이 변한 것을 볼 수 있었다. 파란색 반사빛보다 빨간색 반사빛이 우위를 점하게 되는 것을 볼 수 있었다. 또한 이 진위감정시스템의 신뢰성을 평가하기 위해 같은 구간을 반복하여 여러 번 실험한 후에 결과를 비교해보았다. 4개의 데이터를 겹쳐 나타내 본 결과, 스펙트럼이 마치 하나의 결과를 나타내는 것처럼 보였다. 이를 정확한 데이터로 각 지점마다 비교해 보았을 때 같은 영역에 대해 10 cm의 거리를 반복 스캐닝 할 경우 약 1% 이하의 오류로 측정이 됨을 알 수 있었다. 실험을 반복해도 같은 결과가 나온다는 것을 알

수 있었다. 다음으로 라인레이저를 이용한 실험결과이다. 표면형상측정이 가능한지 알아보기 위해 미술품의 표면을 스캔해보았다. 그림 2(b)에서 보여지는 것과 같이, 표면의 거칠기에 따라 각각 다른 표면형상 이미지 데이터를 얻을 수 있었다. 예비실험을 통해 진위감정시스템으로 미술품의 정보를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

미술품의 진위 판정을 위해 진작과 비슷한 위작을 제작하였고 이 두 작품을 제시된 시스템으로 비교, 대조해보았다. 실험에 사용된 작품은 이진이작가의 ‘자화상’(그림 3(a))으로 작가의 이중적 내면상황을 드러낸 사실주의 작품이다. 그림 3(b)-(e)는 그림 3(a)에 표시된 노란색 영역을 백색광을 이용하여 각각 진작과 위작에서 스캔하여 얻은 결과이다. 위작이 진작과 비슷하게 제작되었다고 하지만, 완벽히 똑같은 수

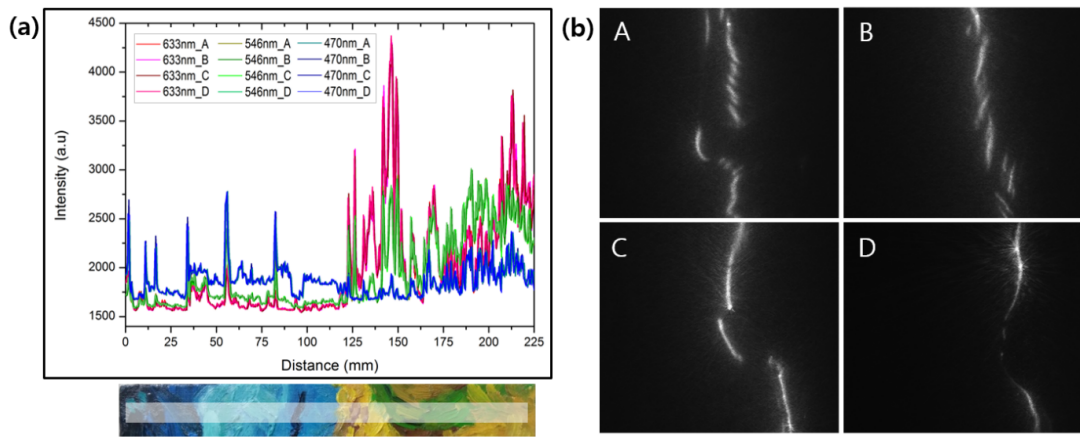


Fig. 2. Pilot experiments. (a) Color information of the painting which was obtained using white light, (b) Tomographic image of the surface of the painting which was obtained using line laser.

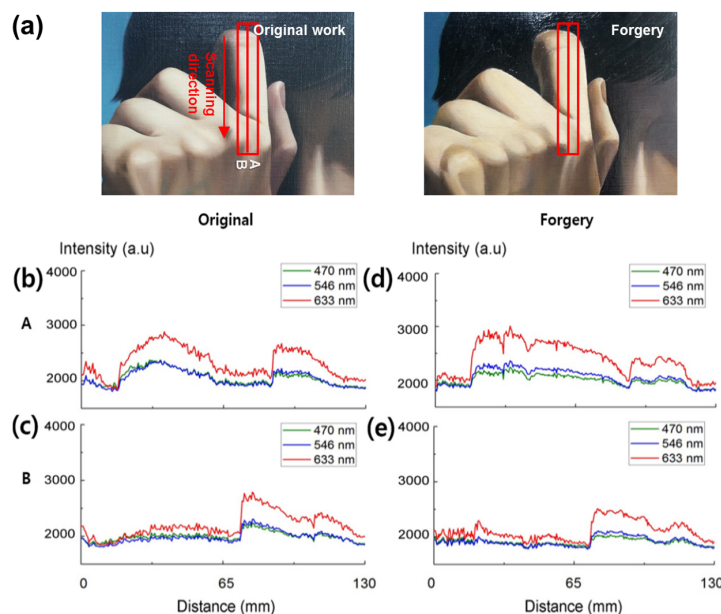


Fig. 3. (a) The painting named ‘Self-portrait(left: original work, right: forgery). (b) and (c) present color information of the original painting. (d) and (e) shows color information of the forgery indicated in RGB spectra.

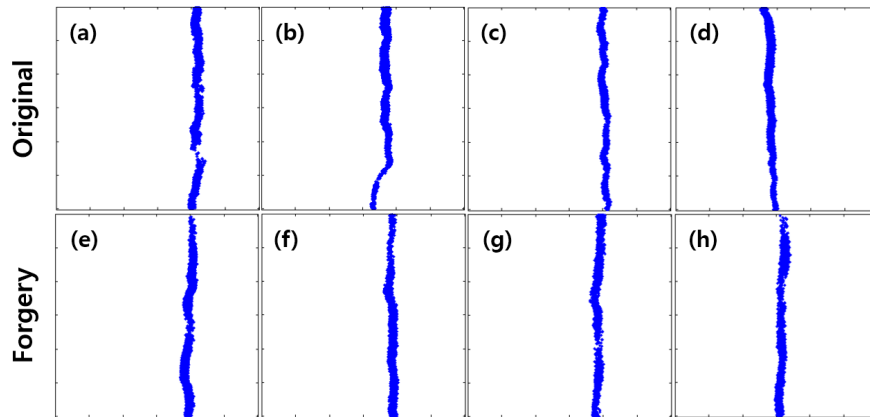


Fig. 4. Topographic image of the painting named ‘Self-portrait’. (a)-(d) The topographic images of the original painting. (e)-(h) The topographic images of the forgery.

없기 때문에 표면의 색깔에 따라 각 파장대에서 다른 세기가 측정되었다. 또한 그림에서 물체들의 위치가 똑같을 수 없기 때문에 색이 변하는 구간이 다른 것을 볼 수 있었다. 다음으로 표면형상을 비교 관찰해보기 위해 그림 3(a)의 진작과 가작의 스캔하고 몇 가지 부분을 비교한 데이터를 그림 4에 나타내었다. 가작을 스캔한 뒤, 몇 가지 부분을 선택하여 비교해보았다. 예비 실험에서 보여준 미가공 데이터와는 다르게 그림 4는 실험을 통해 얻은 표면형상 이미지에서 산란된 빛을 제거하여 나타낸 데이터이미지이다. 미술품의 표면도 색상과 마찬가지로 그 형상과 거칠기가 매우 다르기 때문에 확연한 차이를 보였다. 진작이 위작보다 표면이 좀 더 거칠어서 반사된 라인레이저가 위작보다 더 굴곡이 있는 것으로 보여진다. 다른 부분의 표면형상이미지를 보았을 때도 차이를 알 수 있었다. 눈으로는 구별하기 힘든 작품 표면의 약간의 굴곡을 라인레이저와 CCD 카메라를 통해 잘 관찰할 수 있었다. 미술품의 색상과 표면형상에 관련된 데이터를 바탕으로 진작과 위작을 구별할 수 있었다. 측정된 표면형상이미지 데이터를 바탕으로 수학적으로 분석해본 결과, 진작-진작의 차이점은 4%정도로 나타났으며 진작-가작의 차이점은 전체 데이터의 90% 정도를 차지함을 알 수 있었다. 형상 자체의 측정에만 그 의미를 두고 범위를 정하자면 유화나 아크릴화와 같은 물감 자체에 독특한 질감을 표현할 수 있는 종류의 미술품이 진위감정에 가장 적합하다고 판단할 수 있다. 예를 들어, 물감의 질감이 크게 도드라지지 않는 수채화와 같은 작품에 대해서 측정하는 것은 한계가 있다고 판단될 수 있다. 하지만 이런 경우 물감 자체의 영향보다 캔버스 자체의 질감이 도드라지며 이는 line laser를 이용하여 충분히 측정 가능하다. 덧붙여, 본 연구에서 적용한 소스는 638 nm의 파장대로서 해당 측정 영역의 붉은 색 정도에 따라 반사도가 달라질 수 있다. 이러한 성질에 의해 미술품 고유의 색깔 특성에 표면 형상이 더불어 융합되는 특유의 측정 결과물을 얻을 수 있고 이는 미술품 고유의 지문처럼 활용되어 작품의 진위감정에 활용될 수 있게 된다. 또한 정확한 진위판정을 위해서 한 영역의 형상 정보를 얻기 때문에 이를 수학적 틀

로 분석해보면 아무리 진작을 모사하더라도 그 섬세한 붓 자국 표현까지 마이크로 단위로 흉내내지 못하기 때문에 진작에 대한 미술품 데이터만 구축되어있다면 충분히 구별 가능하다. 완벽하게 모사한 영역이 존재할 수 있음에 대비하여 여러 영역의 대조가 이루어지기 때문에 100%의 진위 감정 정확도를 가질 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 문화적·경제적 가치가 높은 미술품들을 안전하게 보존하기 위해 새로운 진위감정시스템을 제작하였다. 광학을 이용하여 작품의 훼손을 최소화하여 빠르고 보다 정확한 분석을 할 수 있도록 하였다. 미술품의 광학적 특성분석을 통해 새롭게 제시된 진위감정시스템은 백색광과 라인레이저를 이용하여 미술품의 표면에 관한 데이터를 얻을 수 있었다. 백색광을 이용하여 미술품의 표면 색상정보 데이터를 얻을 수 있었고, 라인레이저를 이용하여 표면형상 데이터를 얻을 수 있었다. 여기서 미술품들은 빛에 의해 손상이 발생하기 때문에 가시광 영역의 소스를 사용하는데 거리낌이 있지만 미술품의 일부를 취한다던지 하는 방식과는 다르게 한시적으로 노출시킴으로써 데이터베이스화 할 수 있다는데 그 의의가 더 크다고 할 수 있다. 진작과 위작을 제작하여 실험을 진행해 본 결과, 데이터에 확연한 차이가 나는 것을 볼 수 있었다. 따라서 진작과 위작을 잘 구별해낼 수 있었다. 진위판별을 위한 기존의 연구 중에는 파장 축에 대한 스펙트럼 프로파일의 correlation을 비교하여 작품의 진위여부를 판단하는 방법이 있는데, 추후 연구에서는 본 시스템에 더욱 정밀한 수치로 진위 여부를 제시하기 위한 correlation방법을 적용하면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 실험을 통해 얻은 결과들을 토대로 미술품의 정보를 저장하기 위해 얻은 결과들을 수치화시켜 데이터베이스를 제작할 예정이다. 본 논문에서 제시된 방법의 목적인 진작의 데이터로부터 가작을 구분해 낸다는 점은 목적인 동시에 한계가 될 수 있는데, 현재 높은 가치를 가지거나 유명한 작품들은 당

시에 인정받지 못했던 작품이 사후에 유명해지거나 하는 경우도 많다. 이를 대비해 본 연구에서 제시된 시스템을 활용하여 현 시점부터 신인 화가들의 작품들과 진작으로 이견 없이 판정된 미술품들에 대해 데이터베이스화 해 둔다면 후에 진작과 가작을 구별할 수 있는 정확한 툴로 활용이 가능하다고 여겨진다. 뿐만 아니라 작품의 정보를 포함하고 있는 데이터들은 추후에 미술품이 훼손되어 복구가 필요할 때 요긴하게 사용될 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- H. Higgs and A. Worthington, "Financial returns and price determinants in the Australian art market," *Econ. Rec.* **81**, 113-123 (2005).
- J. Mei and M. Moses, "Art as an investment and the under-performance of masterpieces," *Am. Econ. Rev.* **92**, 1565-1668 (2002).
- M. L. Biey and R. Zanola, "Investment in paintings: A short-run price index," *J. Cult. Econ.* **23**, 209-219 (1999).
- J. E. Pesando, "Art as an investment: The market for modern prints," *Am. Econ. Rev.* **83**, 1075-1089 (1993).
- R. Pippin, "Authenticity in painting: remarks on Michael Fried's art history," *Crit. Inquiry.* **31**, 575-598 (2005).
- N. Khandekar, C. Mancusi-Ungaro, H. Cooper, C. Rosenberger, K. Eremin, K. Smith, J. Stenger, and D. Kirby, "A technical analysis of three paintings attributed to Jackson Pollock," *Stud. Conserv.* **55**, 204-215 (2010).
- J. Ragai, "The scientific detection of forgery in paintings," *P. Am. Philos. Soc.* **157**, 164-175 (2013).
- A.-T. Lienhardt, *Art forgery. Where authenticity ends and fraud begin* ed. (Maastricht University, Maastricht, Netherlands, 2013).
- R. Howells, A. Ritivoi, and J. Schachter, *Outrage: art, controversy, and society* ed. (Palgrave Macmillan, UK, 2012).
- E. V. Shabunya-Klyachkovskaya, V. V. Kiris, A. N. Shimko, M. V. Belkov, and S. N. Raikov, "Detection of forgeries of dutch and flemish paintings of the XVII-XVIII centuries by means of spectroscopic techniques," *J. Appl. Spectrosc.* **80**, 922-929 (2014).
- C. Conti, C. Colombo, M. Realini, and P. Matousek, "Sub-surface analysis of painted sculptures and plasters using micrometre-scale spatially offset Raman spectroscopy (micro-SORS)," *J. Raman. Spectrosc.* **46**, 476-482 (2015).
- M. Schreiner, M. Melcher, and K. Uhler, "Scanning electron microscopy and energy dispersive analysis: Applications in the field of cultural heritage," *Anal. Bioanal. Chem.* **387**, 737-747 (2007).
- L. Caforio, M. E. Fedi, P. A. Mandò, F. Minarelli, E. Peccenini, V. Pellicori, F. C. Petrucci, P. Schwartzbaum, and F. Taccetti, "Discovering forgeries of modern art by the ¹⁴C bomb peak," *Euro. Phys. J. Plus.* **129**, 1-5 (2014).
- G. Chiavari, G. C. Galletti, G. Lanterna, and R. Mazzeo, "The potential of pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry in the recognition of ancient painting media," *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **24**, 227-242 (1979).
- M. Merchant and S. R. Weinberger, "Recent advancements in surface-enhanced laser desorption/ionization-time of flight-mass spectrometry," *Electrophoresis* **21**, 1164-1177 (2000).
- M. Castillejoa, M. Martínez, D. Silva, T. Stratoudakib, D. Anglosb, L. Burgioc, and R. J. H. Clark, "Analysis of pigments in polychromes by use of laser induced breakdown spectroscopy and Raman microscopy," *J. Mol. Struct.* **550**, 191-198 (2000).
- A. Duran, M. L. Franquelo, M. A. Centeno, T. Espejo, and J. L. Perez-Rodriguez, "Forgery detection on an Arabic illuminated manuscript by micro-Raman and X-ray fluorescence spectroscopy," *J. Raman. Spectrosc.* **42**, 48-55 (2011).
- K. Smith, K. Horton, R. J. Watling, and N. Scoullar, "Detecting art forgeries using LA-ICP-MS incorporating the in situ application of laser-based collection technology," *Talanta* **67**, 402-413 (2005).
- N. W. Bower, D. C. Stulik, and E. Doehne, "A critical evaluation of the environmental scanning electron microscope for the analysis of paint fragments in art conservation," *J. Anal. Chem.* **348**, 402-410 (1994).
- E. Cheilakou, M. Troullinos, and M. Kouli, "Identification of pigments on Byzantine wall paintings from Crete (14th century AD) using non-invasive Fiber Optics Diffuse Reflectance spectroscopy (FORS)," *J. Archaeolog. Sci.* **41**, 541-555 (2014).
- G. Dupuis, M. Elias, and L. Simonot, "Pigment identification by Fiber-Optics Diffuse Reflectance Spectroscopy," *Appl. Spectrosc.* **56**, 1329-1336 (2002).