

Agilent UV-Vis-NIR 분광 광도계를 사용한 분광전기화학

전 세계 연구 그룹이 발표한 첨단 소재 연구



소개

분광전기화학(SEC)은 전기화학과 분광학을 결합하여 연구 및 산업 응용 분야에 모두 사용되는 강력하고 활용도 높은 분석 도구를 만들어냅니다. UV-Vis 또는 UV-Vis 근적외선(NIR) 기반 SEC 분석법은 전기 촉매 반응 및 광전기 촉매 반응과 같은 전기화학적 공정을 더 깊이 있게 이해하는 초석을 마련해 줍니다. 또한 이를 통해 새로운 소재와 기술이 개발될 수 있습니다. SEC를 이용하면 다양한 인가 전위에서 스펙트럼 변화를 분석하여 반응이 발생하는 모습을 실시간으로 관찰할 수 있습니다. 연구자들은 이 데이터를 통해 반응 경로의 진행을 탐구하고 주요 중간체를 식별하여, 더욱 효율적이고 지속 가능한 촉매 공정을 보다 간편하게 개발할 수 있습니다.¹

분광전기화학

SEC는 전기화학과 분광학을 단일 도구로 통합합니다. 실험하는 동안 시료에 인가되는 전위는 점진적으로 증가합니다. 인가된 전위가 바뀔 때마다 UV-Vis 또는 UV-Vis-NIR 스펙트럼이 기록됩니다.^{1,2} 그림 1은 SEC 실험에 일반적으로 사용되는 설정을 개략적으로 보여줍니다.

모든 SEC 실험의 핵심 구성 요소는 다음과 같습니다.

- 분광 광도계
- 포텐시오스텟
- 전기화학 셀

분광 광도계

분광 광도계는 전기화학 반응이 일어날 때 시료의 흡광도나 투과율과 같은 광학적 특성을 측정하므로 SEC 구성에서 핵심적인 역할을 합니다. 분광 광도계의 선택은 연구에 필요한 파장 범위에 따라 달라집니다. 일반적으로 UV-Vis 분광 광도계가 사용되지만, 응용 분야에 따라 UV-Vis-NIR 분광 광도계를 사용할 수도 있습니다.

분광 광도계의 광원은 전기화학 셀의 시료를 통과하는 빛을 생성합니다. 이 빛은 시료와 상호 작용하며, 분광 광도계의 검출기에 의해 광학적 특성의 변화가 감지됩니다. 분광 광도계는 조사하는 전기화학 셀과 시료의 유형에 따라 흡광도, 투과율 또는 반사율과 같은 다양한 모드로 작동할 수 있습니다. 광섬유 커플러를 사용하면 시료 구획 외부에서도 측정을 수행할 수 있습니다.

포텐시오스텟

포텐시오스텟은 전기화학 셀에서 작업 전극의 전위를 제어하므로 SEC에서 중요한 역할을 합니다. 실제로 사용되는 포텐시오스텟 모델에 따라 인가 전위는 수동으로 또는 소프트웨어 인터페이스를 통해 변경됩니다.

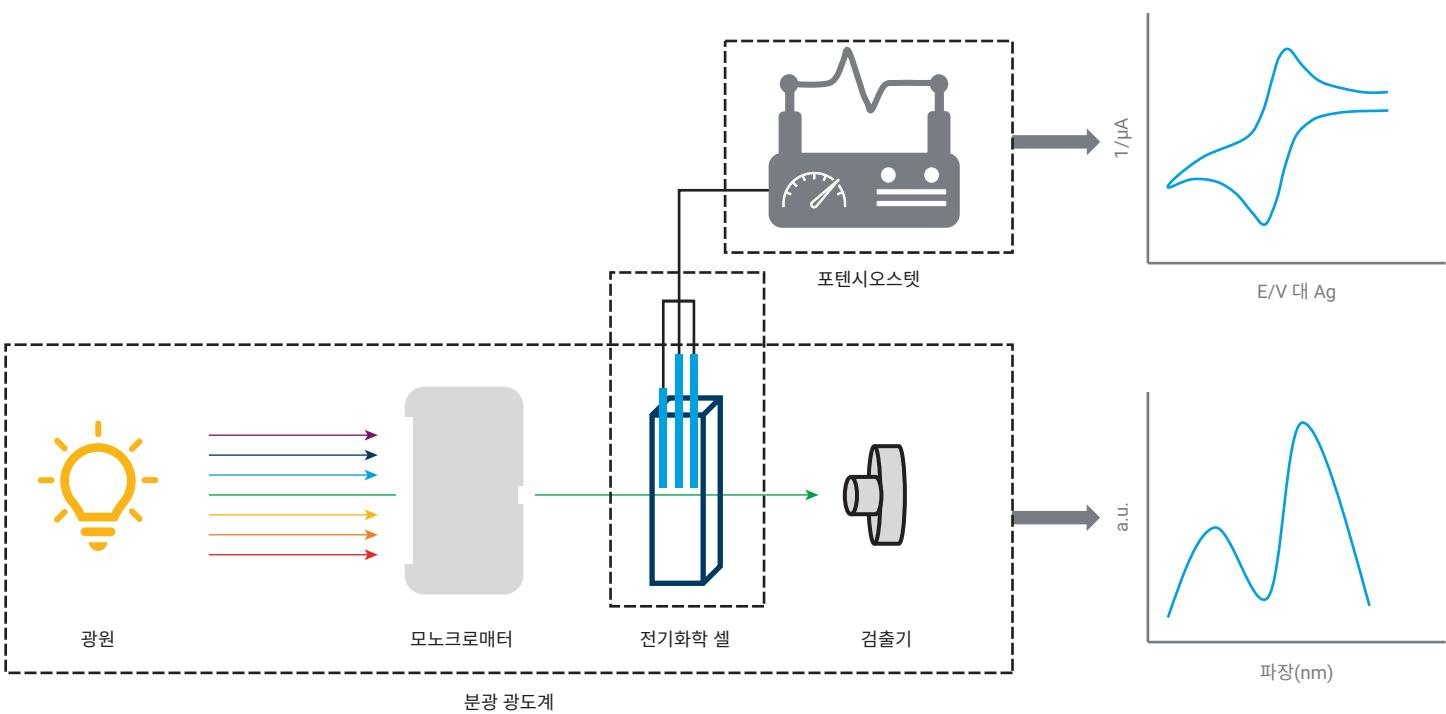


그림 1. SEC 실험 설정.

전기화학 셀

SEC 구성에서 전기화학 셀(그림 2 참조)은 분광 광도계와 통합되도록 설계된 특수한 구성 요소입니다. 주요 기능은 시료를 보관하고 전기화학 반응을 촉진하는 동시에 광학적 측정을 가능하게 하는 것입니다. 셀 구성에는 다음을 포함한 몇 가지 중요한 부분들이 있습니다.

1. 전극²

- **작업 전극(WE):** WE는 관심 대상의 전기화학 반응이 일어나는 곳입니다. SEC에서 이 전극은 일반적으로 유리나 석영에 코팅된 인듐 주석 산화물이나 불소가 도핑된 주석 산화물과 같은 투명한 전도성 물질, 또는 금이나 백금과 같은 전도성 금속 메시로 만들어집니다. 분광 광도계의 빛이 전극을 통하여 시료와 상호 작용하기 위해서는 투명성이 반드시 필요합니다.
- **상대 전극(CE):** 셀 내에서 WE의 반대편에 위치한 CE는 회로를 완성하고 전기화학 반응 중 전하 균형을 유지합니다. 이 전극은 일반적으로 백금이나 금과 같은 불활성 물질로 만들어집니다.
- **기준 전극(RE):** RE는 작업 전극의 전위를 측정하는데 사용되는 안정적인 전위를 제공합니다. 일반적으로 은/염화은(Ag/AgCl) 전극이 선택되지만, 전해질과 시료에 따라 포화 칼로멜 전극 등 다른 전극이 사용될 수도 있습니다.



그림 2. 전기화학 셀에 세 가지 유형의 전극을 설치한 모습.

2. 전해질 용액

전해질은 전기화학 반응에 필요한 이온 매질을 제공하므로 셀에 매우 중요한 구성 요소입니다. SEC에서 전해질은 셀 설계에 따라 작업 전극과 투명한 상대 전극 또는 반사 표면 사이에 배치된 얇은 층으로 구성됩니다. 전해질 조성은 연구하는 특정 반응에 따라 크게 다를 수 있지만, 일반적으로 전도도를 보장하기 위해 용매와 지지 전해질이 포함됩니다.

3. 셀 유형

- **투과 셀:** 액체 시료용으로 설계된 이러한 셀은 빛이 시료를 통하여 반대편에서 감지될 수 있게 해줍니다. 투과 셀의 WE는 일반적으로 투명 전극이므로 반응이 진행됨에 따라 분광 광도계가 흡광도의 변화를 측정할 수 있습니다. 투과 셀은 균일한 용액, 또는 액체 상태에서 발생하는 반응을 연구하는 데 이상적입니다.
- **반사율 셀:** 이러한 셀에서 빛은 시료 표면에서 반사된 후에 감지됩니다. 이 활용도 높은 셀은 액체, 고체 또는 박막 시료를 처리할 수 있습니다. 반사율 측정은 표면 반응, 박막 및 고체 물질을 연구하는 데 특히 유용합니다.
- **광학적으로 투명한 박층 전기화학(OTTLE) 셀:** OTTLE 셀은 WE가 매우 얇은 전해질 층으로 코팅된 특수한 셀입니다. 이 형태에서는 고분해능 분광 측정이 가능하며 특히 전기화학 반응에서 빠른 반응 속도와 수명이 짧은 중간체를 연구하는 데 효과적입니다. 박막으로 되어 있어 시료 전체가 광학 경로 내에 들어오므로 높은 감도와 빠른 응답 시간을 제공합니다.

SEC 구성에서는 전기화학 셀을 분광 광도계의 광학 경로와 세밀하게 정렬시켜 정확한 측정을 보장합니다. WE는 광선이 전극 표면을 직접 통하여거나(투과 셀) 전극 표면에서 반사되도록(반사 셀) 배치됩니다. WE의 정렬은 매우 중요합니다. 정렬이 잘못되면 부정확한 판독이나 감도 손실로 이어질 수 있기 때문입니다.

OTTLE 셀의 경우, 일반적으로 두 개의 투명한 판 사이에 투명한 WE가 끼워져 있으며, 그 사이에 얇은 전해질 층이 들어가 있습니다. 이러한 구성은 시료를 통하여 이동해야 하는 빛의 거리를 최소화하여 측정의 분해능과 감도를 향상시킵니다. 또한 셀 설계를 통해 인가 전위나 전류를 쉽게 제어할 수 있어 전기화학적 과정을 정밀하게 연구할 수 있습니다.

응용 분야

SEC는 산화환원 반응, 반응 메커니즘, 전기화학적 공정의 중간체 검출을 포함한 다양한 연구 분야에 사용됩니다.

따라서 SEC는 다음과 같은 광범위한 응용 분야에서 매우 귀중한 역할을 합니다.

- **배터리 연구:** SEC는 배터리 성능을 개선하는 데 중요한 정보인 수명이 짧은 물질의 거동을 이해하는데 필수적입니다.
- **부식 연구:** SEC는 금속 표면에서 발생하는 프로세스에 대한 상세한 통찰력을 제공하여 부식 방지에 도움을 줍니다.

SEC는 또한 센서 개발에서도 중요한 역할을 하여 환경 모니터링, 식품 안전 및 의료 진단을 위한 고도로 선택적이고 민감한 장치를 설계하는 데 도움을 줍니다.

Cary UV-Vis-NIR 분광 광도계

Agilent Cary 시리즈는 SEC 구성을 포함하여 유연성과 확장성으로 다양한 연구 요구 사항을 충족하도록 설계된 활용도 높은 분광기 제품군을 제공합니다.

Agilent Cary 60과 Cary 3500 UV-Vis 분광 광도계에는 모두 제논 플래시 램프가 장착되어 있어 시료의 광분해를 최소화하고 빠른 데이터 수집을 보장합니다. Cary 60 UV-Vis는 일상적인 분석에 적합하며 다양한 액세서리와 호환됩니다. Cary 3500 UV-Vis는 소형, Flexible, 멀티셀 이 세 가지 모듈을 포함한 모듈식 디자인을 갖추고 있어 다양한 온도 조건과 경로 길이에서 시료를 측정할 수 있습니다.

고급 분석을 위한 **Agilent Cary 4000 UV-Vis, Cary 5000, 6000i UV-Vis-NIR 및 Cary 7000 범용 측정 분광 광도계**는 UV-Vis와 NIR 범위를 모두 포괄하는 뛰어난 감도와 스펙트럼 분해능을 제공합니다.

이러한 기기를 함께 사용하면 고급 연구 프로젝트를 포함하여 SEC 분야의 광범위한 과학적 응용을 위한 포괄적인 솔루션을 얻을 수 있습니다.

UV-Vis/NIR을 이용한 분광전기화학 연구 응용

전 세계 많은 연구 그룹이 다음 예에 요약한 것처럼 SEC 구성에 애질런트 UV-Vis 또는 UV-Vis-NIR 기기를 사용하고 있습니다.

Operando 분광전기화학으로 측정한 물-산화 IrOx 전기 촉매의 산화환원 상태 동역학³

이 연구에서 Carlota Bozal-Ginesta와 동료 연구자들은 시간 분해 operando 분광전기화학을 사용하여 산성 환경에서 최고의 산소 발생 전기 촉매로 알려진 수화 이리듐 산화물(IrOx) 필름의 산화환원-상태 동역학을 조사했습니다. Cary 60 UV-Vis를 사용하여 다양한 인가 전위에서 시료의 흡광도를 모니터링했습니다. 이 연구에서는 다음의 세 가지 산화환원 반응 종을 식별하고 정량화했습니다: Ir^{3+} , Ir^3x^+ , Ir^{4+} , 그리고 전위에 따라 달라지는 Ir^4y^+ 종. Ir^4y^+ 상태의 생성이 촉매적 물 산화의 잠재력을 결정하는 단계인 반면, Ir^{4+} 상태는 과산화수소 산화를 촉진한다는 사실이 발견되었습니다. 물 산화 반응의 속도는 전위가 증가함에 따라 현저히 가속화되었지만, 과산화수소 산화 반응의 속도는 일정하게 유지되었습니다. 이는 후자에 대해 1차 반응 메커니즘이 작용함을 나타냅니다. 이 혁신적인 접근 방식은 IrOx 전기촉매 메커니즘에 대한 독특한 운동학적 통찰력을 제공하여 물 산화에 다중 Ir^4y^+ 상태가 협력적으로 상호 작용하는 고차 반응 메커니즘이 있음을 보여줍니다.

표면 고정 작용기가 있는 6-oxo-verdazyl 유도체의 합성, 구조 및 분광전기화학적 특성⁴

이 연구에서는 tolyl, thioanisole 및 iodophenyl 기로 1위치와 5위치에 작용기가 배치된 일련의 6-oxo-verdazyl 라디칼을 확립된 방법으로 합성했습니다. Verdazyl 코어는 말단 알킨과 디요오드 전구체의 Sonogashira 교차 결합을 통해 π -공액 에티닐기로 만들어졌습니다. 라디칼의 구조적 및 전자적 특성은 EPR 분광법, 단결정 X-선 회절, 순환 전압전류법, UV-Vis-NIR 분광법을 사용하여 조사했습니다. Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광동계를 사용하여 광학 분광법을 수행했고, 동일한 기기를 EmStat3+ 포텐시오스텟과 함께 사용하여 분광전기화학 연구를 수행했습니다. 순환 전압전류법은 접근 가능한 범위 내에서 화학적 및 전기화학적으로 가역적인 산화환원 반응을 밝혀내어 폐쇄된 껍질의 양이온 및 음이온 상태에 대한 상세한 분광전기화학적 분석을 가능하게 했습니다. 이러한 실험적 관찰은 (TD-)DFT 계산으로 보완되어 6-oxo-verdazyl 라디칼의 전자 구조와 전하 이동 특성에 대한 통찰력을 제공했습니다.

Quinoidal thienothiophene diketopyrrolopyrrole의 중성 및 음이온 종은 공통적인 응집 모드를 나타냅⁵

이 연구에서는 diketopyrrolopyrrole(DPP) 단위를 dicyanomethylene이나 phenoxy 기로 말단 캡핑하여 quinoidal thienothiophene 구조에 통합한 DPP-TT-CN과 DPP-TT-PhO의 두 가지 분자 삼중체를 탐구했습니다. UV-Vis-NIR 및 적외선 분광전기화학 기술은 이론적 계산과 결합되어 중성 및 하전된 물질 모두에서 H-응집체가 형성된다는 사실을 밝혀냈습니다. 가변 온도 UV-Vis-NIR 전자 흡수 스펙트럼은 파장 범위가 175-3,300nm인 Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광도계를 사용하여 기록했습니다. DPP-TT-CN의 환원으로 1,006, 1,629 및 816nm 대역을 포함한 일련의 흡수 특성이 생겨났으며, 이는 라디칼 음이온과 이량체 응집체를 나타냅니다. 온도를 낮추자 흡수 파장이 1,208nm로

이동하여 응집된 종의 존재를 확인시켜주었습니다. 추가적인 환원으로 754nm에서 대역을 갖는 이음이온(dianion) 종이 형성되었으며, 이는 비슷한 화합물의 일반적인 이음이온 대역과 비교했을 때 적색편이를 보였습니다. 이러한 연구 결과는 DPP 단위가 분자의 전자적 특성을 조절하는 데 중요한 역할을 한다는 것을 시사합니다. 이 연구에서는 또한 라디칼 음이온의 농도 의존적 응집을 조사하여 농도가 높을수록 이량체와 응집체 형성이 촉진된다는 것을 보여주었습니다. 이러한 결과는 이들 종의 전자 구조를 이해하는 데 있어서 엑시톤 결합이 중요한 역할을 한다는 것을 강조합니다. 전반적으로, 이 연구는 유기 π -공액 발색단의 분자 응집에 대한 이해를 높여 초분자 화학 분야에서 첨단 소재를 설계하기 위한 통찰력을 제공합니다.

폴리비올로겐 환원 그래핀 산화물 나노복합체 박막의 전기화학적 증착⁶

이 연구에서 Nianxing Wang과 동료 연구진은 원스텝 전기화학적 중합 기술을 통해 폴리비올로겐(PV)과 환원된 그래핀 산화물(rGO)의 복합물 박막을 합성했습니다. 단량체(cyanopyridine 기반)와 그래핀 산화물 플레이크를 이온성 액체에 용해한 후 전기화학적 환원을 실시했습니다. 이 과정을 거친 후, PV 그물망 내에서 rGO 플레이크가 환원되어 고정화된 분기형 PV 박막이 형성되었습니다. 순환 전압법, 전기화학 임피던스 분광법, UV-Vis, FT-IR, 라만 분광법 및 SEM을 사용하여 복합물 박막의 특성을 분석했습니다. 연구 결과에 따르면 그래핀의 존재로 인해 산화환원 특성이 향상되어 복합물 박막이 성공적으로 형성되었음이 확인되었습니다. 간단하고 저렴한 재료를 사용하는 것으로 알려진 이 분석법은 전기변색 장치와 센서에 적용 가능한 얇은 복합물 박막을 제조하는 간단한 접근 방식을 제시합니다. PV 및 PV-rGO 박막의 UV-Vis 스펙트럼은 Cary 60 UV-Vis를 사용하여 300-1,000nm에서 기록했으며, 측정은 0.0에서 -1.0V 사이의 전위 범위에서 수행했습니다.

bis-triarylamine 라디칼 양이온 및 이양이온에서 브릿지 전자 밀도에 의한 전자 전달 커플링과 교환 상호작용 조정⁷

이 연구에서 저자들은 두 산화환원 센터 사이에 있는 브릿지의 전자 밀도가 IVCT(intervalence charge transfer)와 자기적 초교환에 어떤 영향을 미치는지 조사했습니다. 그들은 9위치에 변형이 있는 2,7-fluorenyl 브릿지를 사용하여, 가교된 bis-triarylamine 일양이온과 이양이온에 중점을 두었습니다. 혼합 원자가 단양이온의 경우, 그들은 브릿지에서 triarylamine 라디칼 양이온으로의 전자 전달과 관련된 흡수 대역과 함께 IVCT 대역을 관찰했습니다. 이를 통해 3-상태 일반화된 Mulliken-Hush 이론을 사용하여 전자 전달 결합을 결정할 수 있었습니다. 결과는 브릿지 상태 에너지가 감소함에 따라 전자 결합이 개선되었음을 보여주었습니다. 이양이온 디라디칼의 경우, 단일-삼중 캡(교환 상호 작용)을 찾기 위해 실험적 방법과 양자 화학적 방법이 모두 사용되었습니다. 전자 공여 치환기로 인해 브릿지 상태 에너지가 감소함에 따라 반강자성 결합이 증가하는 것으로 나타났습니다. 분자 오비탈 분석 결과, 강자성 결합과 브릿지 에너지의 제곱 사이에 반비례 관계가 있음이 밝혀졌으며, 이는 실험 결과와 일치합니다. 특수 제작된 셀(백금 작업 전극, 백금 상대 전극, 누출 없는 Ag/AgCl 기준 전극이 있음)을 Cary 5000 UV-Vis-NIR 분광 광도계에 연결하여 반사 모드에서 분광전기화학 흡수 측정값을 기록했습니다. 이 연구는 브릿지 상태 에너지가 전자 전달과 자기 교환 상호작용에 상당한 영향을 끼친다는 것을 잘 보여주며, 브릿지 전자 밀도를 조정하여 전자적으로 결합된 유기 산화환원계의 속성을 수정하기 위한 가이드를 제공합니다.

지지 전해질이 polyaniline-poly(styrene sulfonic acid) 및 poly(ethylenedioxythiophene)-poly(styrene sulfonic acid) 기반 전기변색 소자의 분광전기화학적 및 전기변색적 특성에 미치는 영향⁸

이 연구에서는 PMMA-PC-LiClO₄-SiO₂ 전해질을 사용한 전기변색 소자의 전기화학적 성능과 전기변색 특성을 조사했습니다. 전해질 박막은 용액 주조법을 통해 합성했으며, 주사 전자 현미경(SEM)으로 관찰했을 때 균일한 형태를 얻을 수 있었습니다. PMMA-PC-LiClO₄-SiO₂ 전해질의 이온 전도도는 AC 임피던스 분광법을 사용하여 측정했으며, 실온에서 최대 전도도는 1.08×10^{-3} S/cm임을 보여주었습니다. 순환 전압전류법(CV)을 이용한 결과, 전기변색 소자가 상당한 산화환원 반응을 나타내, 전압을 인가하면 투명 상태와 유색 상태 사이를 전환할 수 있음을 보여주었습니다. Cary 60 UV-Vis 분광 광도계로 시간 경과 모드에서 in-situ UV-가시광선 스펙트럼을 수집하여 분광전기화학적 연구를 수행한 결과, 환원 시 가시광선 영역에서 강한 흡수 피크가 나타나 전기변색 효과가 있음을 확인시켜주었습니다. 장기간의 사이클 테스트를 통해 소자의 안정성을 평가했는데, 1,000회 사이클 후에도 색상 변화 저하가 매우 적어 우수한 내구성을 나타냈습니다. 이러한 연구 결과는 효율적이고 내구성 있는 전기변색 소자 개발에서 PMMA-PC-LiClO₄-SiO₂ 전해질이 가진 잠재력을 잘 보여줍니다.

완전 고체 폴리머 전해질을 사용한 리튬/황 셀의 in-operando 주사 전자 현미경 및 자외선-가시광선 분광 연구⁹

고상 박막 폴리머 전해질을 사용하여 리튬-황(Li-S) 셀을 연구한 결과, 250, 280, 325, 385, 420 및 480nm에서 뚜렷한 UV-Vis 흡수 대역이 관찰되었습니다. 액체 전해질을 사용한 이전 연구와는 달리, 이러한 대역은 잘 분리되어 폴리설파이드 종을 더 명확하게 식별할 수 있음을 보여주었습니다. 유의미한 흡수 피크는 특정 유황 종과 상관관계가 있는데, 420nm 대역은 충전 및 방전 사이클 동안 320, 385, 480nm 대역과 반대 경향을 보입니다. 특히, 장기간 방전 후 폴리설파이드 왕복 메커니즘이 확인되어 S₄²⁻ 농도가 증가했습니다. Cary 60 UV-Vis를 사용하여 폴리설파이드 형성을 시간의 함수로 분석했으며, 사이클링 중 전해질에 S_x²⁻(4 ≤ x ≤ 6) 종이 존재함을 보여주었습니다. 이 연구는 액체 시스템과 비교한 충전 및 방전 메커니즘의 차이와 고체 전해질의 향상된 안정성을 보여주어 폴리설파이드 평형과 배터리 효율에 영향을 미치는 충전 히스테리시스에 대한 이해도를 높여주었습니다.



Agilent Cary 60 UV-Vis 분광 광도계

Cary 60 UV-Vis 분광 광도계는

반복적이고 일상적인 분석에 적합한 강력한 도구입니다. 이 기기는 190-1,100nm의 파장 범위에서 작동하며 매우 다양한 샘플링 액세서리를 장착할 수 있습니다. 이 제품은 예열 시간이나 실내 조명 간섭 없이 측정을 수행할 수 있으며 시료의 광분해를 제거하여 항상 정확한 결과를 보장합니다. 실내 조명에 대한 이러한 수용성과 고도로 집속된 빔 덕분에 Cary 60 UV-Vis는 광섬유 프로브를 사용하여 시료부 밖에서 측정을 수행할 때 이상적입니다.

Cary 60 UV-Vis는 제논 플래시 램프에 대해 10년 보증을 제공하고, 환경영향에 대해 독립적인 감사와 검증을 받았으며 My Green Lab에서 발행하는 ACT(Accountability, Consistency, and Transparency) 라벨을 받았습니다.



Agilent Cary 3500 UV-Vis 분광 광도계 시리즈

Cary 3500 멀티셀 및 소형 UV-Vis 분광 광도계는 온도 제어 기능과 초당 250포인트의 초고속 데이터 수집 속도가 특징인 활용도 높은 측정 도구입니다.

Cary 3500 Flexible UV-Vis 분광

광도계는 작은 크기에 큰 시료부를 갖춘 독특한 제품으로, 긴 경로 길이의 큐벳이 필요한 액체 시료를 분석하고 고체 시료의 특성을 규명합니다. 190-1,100nm의 범위 내에서 효과적으로 작동합니다.

Cary 3500 UV-Vis는 My Green Lab에서 발행하는 ACT를 수상한 또 다른 제품으로, 제논 플래시 램프에 대해 10년 보증을 제공합니다.



Agilent Cary 4000/5000/6000i/7000 UV-Vis (-NIR) 분광 광도계

고급 UV 분광 광도계는 175-3,300nm의 범위 내에서 작동하며 흡수성이 높은 시료는 물론 확산 반사와 정반사를 측정하는 기능을 갖추고 있습니다.

이러한 시스템은 최신 세대 검출기 (PbSmart, InGaAs 및 샌드위치)를 사용해 175-3,300nm 범위에서 뛰어난 광도 측정 성능을 발휘하며, 감도를 개선하고 NIR에서 미광을 줄여 재료 과학 연구를 위한 강력한 도구로 제시됩니다.

Agilent Cary 7000 범용 측정 분광

광도계(UMS)는 고객의 모든 고체 샘플링 요구 사항을 충족시켜 드립니다. Cary 7000 기기의 다각도 정반사 및 투과율 기능을 활용해 이전에는 불가능했던 실험을 설계해 연구 범위를 확대하는 동시에 자동 반사 및 투과로 시간과 비용을 절약할 수 있습니다.

결론

이 백서에 소개된 7가지 첨단 연구 프로젝트는 애질런트 UV-Vis 및 UV-Vis-NIR 분광 광도계가 분광전기화학 연구를 발전시키는데 중요한 역할을 한다는 것을 보여줍니다. 전기촉매의 산화환원 상태 반응 속도를 탐구하는 것부터 까다로운 환경에서 복잡한 환원 거동을 조사하는 데 이르기까지, 이러한 기기를 사용하면 전기화학 반응을 정확하게 실시간으로 분석할 수 있습니다. Agilent Cary 분광 광도계 시리즈는 활용성과 감도가 높아 기초 및 응용 전기화학 연구에 있어서는 안 될 도구로 자리매김했습니다. 이들 기기가 다양한 연구에 채택되고 있다는 사실은 현대 과학 탐구의 엄격한 요구를 충족한다는 것을 입증합니다.

참고 자료

1. Mesa, C. A.; Pastor, E.; Francàs, L. UV-Vis Operando Spectroelectrochemistry for (Photo)electrocatalysis: Principles and Guidelines, *Curr. Opin. Electrochem.* **2022**, 35, 101098. DOI: [10.1016/j.coelec.2022.101098](https://doi.org/10.1016/j.coelec.2022.101098)
2. León, L.; Mozo, J. D. Designing Spectroelectrochemical Cells: A Review, *TrAC* **2018**, 102, 147–169. DOI: [10.1016/j.trac.2018.02.002](https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.02.002)
3. Bozal-Ginesta, C.; Rao, R. R.; Mesa, C. A.; Liu, X.; Hillman, S. A. J.; Stephens, I. E. L; Durrant, J. R. Redox-State Kinetics in Water-Oxidation IrO_x Electrocatalysts Measured by Operando Spectroelectrochemistry, *ACS Catalysis* **2021**, 11(24), 15,013–15,025. DOI: [10.1021/acscatal.1c03290](https://doi.org/10.1021/acscatal.1c03290)
4. Kumar, V. J.; et al. The syntheses, Structures and Spectroelectrochemical Properties of 6-Oxo-Verdazyl Derivatives Bearing Surface Anchoring Groups. *J. Mater. Chem. C* **2022**, 10, 1,896–1,915. DOI: [10.1039/D1TC05495C](https://doi.org/10.1039/D1TC05495C)
5. Moles Quintero, S.; et al. Neutral and Anion Species of Quinoidal Thienothiophene Diketopyrrolopyrroles Display a Common Aggregation Mode. *Chem. Eur. J.* **2024**. DOI: [10.1002/chem.202402094](https://doi.org/10.1002/chem.202402094)
6. Wang, N.; Lukács, Z.; Gadgil, B.; Damlin, P.; Janáky, C.; Kvarnström, C. Electrochemical Deposition of Polyviologen-Reduced Graphene Oxide Nanocomposite Thin Films, *Electrochim. Acta* **2017**, 231. DOI: [10.1016/j.electacta.2017.02.065](https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.02.065)
7. Euringer, L.; et al. Tuning Electron Transfer Coupling and Exchange Interaction in Bis-triarylamine Radical Cations and Dications by Bridge Electron Density. *J. Am. Chem. Soc.* **2024**. DOI: [10.1021/jacs.4c09221](https://doi.org/10.1021/jacs.4c09221)
8. Kuo, C.-W.; Chen, B.-K.; Li, W.-B.; Tseng, L.-Y.; Wu, T.-Y.; Tseng, C.-G.; Chen, H.-R.; Huang, Y.-C. Effects of Supporting Electrolytes on Spectroelectrochemical and Electrochromic Properties of Polyaniline-poly(styrene sulfonic acid) and Poly(ethylenedioxythiophene)-poly(styrene sulfonic acid)-based Electrochromic Device. *J. Chin. Chem. Soc.* **2014**. DOI: [10.1002/jccs.201300479](https://doi.org/10.1002/jccs.201300479)
9. Marceau, H.; Kim, Chi-Su; Paolella, A.; Ladouceur, S.; Lagacé, M.; Chaker, M.; Vijh, A.; Guerfi, A.; Julien, C. M.; Mauger, A.; et al. In Operando Scanning Electron Microscopy And Ultraviolet–Visible Spectroscopy Studies Of Lithium/Sulfur Cells Using All Solid-State Polymer Electrolyte, *J. Power Sources* **2016**, 319. DOI: [10.1016/j.jpowsour.2016.03.093](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.03.093).

추가 정보

[UV-Vis 분광기 및 분광 광도계 FAQ](#)

[UV-Vis 및 UV-Vis-NIR 기기 선택 가이드](#)

[UV-Vis 응용 가이드](#)

www.agilent.com/chem/uv-vis-uv-vis-nir

DE-003142

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2024
2024년 12월 20일, 한국에서 인쇄
5994-8001KO

한국애질런트테크놀로지스(주)
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,
DF타워 9층, 06621
전화: 82-80-004-5090 (고객지원센터)
팩스: 82-2-3452-2451
이메일: korea-inquiry_lsca@agilent.com

