

SQ ICP-MS vs QQQ ICP-MS

차이점은 무엇이며 어떤 기법이 귀하의 응용에
적합할까요?



목차

| | |
|--------------------------------------|----|
| ICP-MS란? | 4 |
| SQ ICP-MS와 ICP-QQQ의 차이점 | 5 |
| ICP-MS의 작동 방식 | 6 |
| 1. 시료 주입 | 8 |
| 2. ICP(플라즈마) 이온화원 | 8 |
| 3. 진공 인터페이스 | 10 |
| 4. 이온 포커싱 및 분리 | 11 |
| 5. 충돌/반응 셀 | 11 |
| 6. 질량 분석기(MS) | 13 |
| 7. 전자 증배관 검출기 | 13 |
| 8. 데이터 처리 | 14 |
| ICP-MS의 용도 | 15 |
| 액체 시료 분석 | 15 |
| 종 분리(speciation) 분석 | 15 |
| 나노입자 및 단일 세포 | 16 |
| 가스 분석 | 17 |
| 어떤 유형의 ICP-MS가 귀하의 응용에 적합할까요? | 18 |
| ICP-MS 또는 ICP-QQQ? | |
| 왜 ICP-QQQ일까요? | 18 |
| 측정할 수 있는 원소 | 19 |
| ICP-MS 및 ICP-QQQ에 적합한 응용 | 20 |
| 금속 분석에서 ICP-MS의 장점 | 20 |
| SQ ICP-MS 응용 | 20 |
| QQQ ICP-MS 응용 | 20 |
| 병행 비교: ICP-MS vs ICP-QQQ | 21 |
| 응용 사례 | 22 |
| 먹는물 시료의 다원소 분석 | 22 |
| 식품 시료의 다원소 분석 | 23 |
| 광물 탐사 시료의 다원소 분석 | 24 |
| 고순도 화학물질의 극미량 및 초극미량 오염물질 분석 | 25 |

애질런트는 1980년대에 첫 번째 SQ 유도 결합 플라즈마 질량 분석기(ICP-MS)를 선보였습니다.

2012년에는 첫 번째 QQQ 유도 결합 플라즈마 질량 분석기 (ICP-QQQ)를 선보였고, 2016년에는 2세대 기기를 선보였습니다.

현재 Agilent ICP-MS 기기는 실질적으로 다음을 포함한 모든 산업에서 사용됩니다.

- 수자원, 토양, 퇴적물, 폐기물, 생물군 및 공기 매개 오염물질에 대한 일상적인 환경 모니터링
- 나노입자 및 미세 플라스틱과 같은 새로운 신종 오염물질 검출
- 소비재 테스트
- 식품 및 의약품 안전 응용 분야
- 생명 과학 및 임상 연구
- 광업, 재료 및 금속 분석
- 지구 화학, 핵 및 재생 가능 에너지
- 석유화학 및 바이오 연료
- 반도체 공정 화학물질 분석



Agilent SQ ICP-MS(왼쪽) 및 QQQ ICP-MS(오른쪽, Agilent HPLC 포함).

ICP-MS란?

ICP-MS(유도 결합 플라즈마 질량 분석)는 무기, 원소 분석에 사용되는 신속한 다원소 원자 분광 기법입니다. ICP-MS는 거의 모든 원소를 측정할 수 있고 낮은 검출 한계, 높은 시료 처리량, 광범위한 농도 범위에서의 측정이 특징입니다.

ICP-MS 기법은 1980년대에 기존 ICP 기술(ICP-OES에서 출발)이 잔류 가스 분석기 및 GC/MS에서 이미 사용되고 있었던 사중극자 질량 분석기 기술과 결합되면서 상업적으로 개발되었습니다

ICP-MS는 ICP를 고온 플라즈마 이온화원으로 사용해 시료를 개별 이온으로 변환합니다. 이후에 개별 이온은 질량 분석기(MS)로 추출되어 분리 및 검출됩니다. 대부분의 상업용 ICP-MS 기기는 빠른 스캐닝 속도, 단일 단위 질량 분리능, 상대적으로 낮은 비용이라는 장점이 결합된 사중극자 MS를 사용합니다.

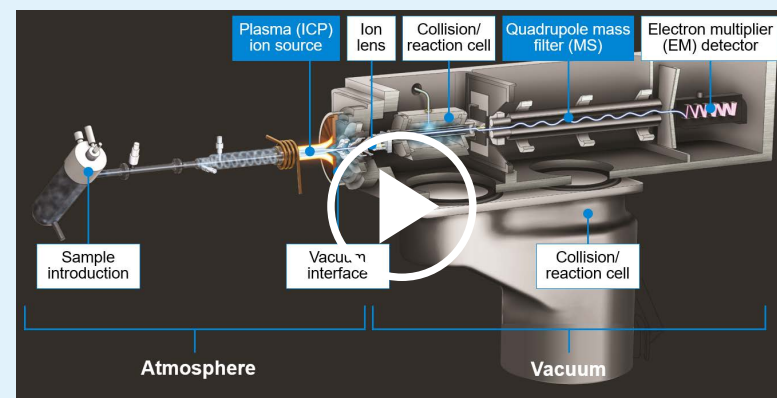
ICP는 대기압에서 작동하고, 질량 필터 및 검출기에는 높은 진공이 필요하기 때문에 ICP-MS에는 진공 시스템에서 낮은 압력을 유지하면서도 ICP에서 MS로 이온을 전달하는 인터페이스도 필요합니다. 이온 렌즈(전압이 가해지는 금속 플레이트)는 이온이 인터페이스를 통해 밀폐된 충돌/반응 셀로 이동하도록 조정하고 포커싱하는데 사용됩니다. 충돌/반응 셀은 챔버 내의 일반적인 스펙트럼 간섭을 해결합니다. 챔버는 비활성(충돌 모드) 또는 반응(반응 모드) 셀 가스를 사용해 압력을 가할 수 있습니다. 이온은 이온을 질량에 따라 분리해 검출기로 전달하는 사중극자 질량 필터를 통과하게 되는데, 여기서 개별 이온이 카운트됩니다. 원소 농도는 각 질량에서 측정되는 카운트율과 알려진 표준물질의 신호를 비교해 계산합니다.

애질런트에서는 두 가지 구성의 사중극자 ICP-MS를 제공합니다.

1. 일반 또는 "SQ" ICP-MS 및
2. "QQQ" ICP-MS(ICP-QQQ, ICP triple quad 또는 "TQ"라고도 알려짐)

10분 가이드

LabTube에서 제공하는 이 짧은 동영상은 ICP-MS 기법에 대한 쉽고 간단한 설명을 제공합니다. ICP-MS 기법의 기술 및 핵심 성능에 대해 설명합니다.



SQ ICP-MS와 ICP-QQQ의 차이점

가장 일반적인 ICP-MS 구성은 "SQ" 기기로, 충돌/반응 셀과 검출기 사이에 분석기 질량 필터 하나가 위치해 있습니다.

QQQ ICP-MS 구성에서는 두 개의 사중극자 질량 필터를 사용하는데, 충돌/반응 셀 앞뒤에 하나씩 위치합니다.

QQQ로 구성해야 2단계 질량 필터링을 수행할 수 있기 때문에 이 기법은 탠덤 ICP-MS 또는 ICP-MS/MS라고도 알려져 있습니다.

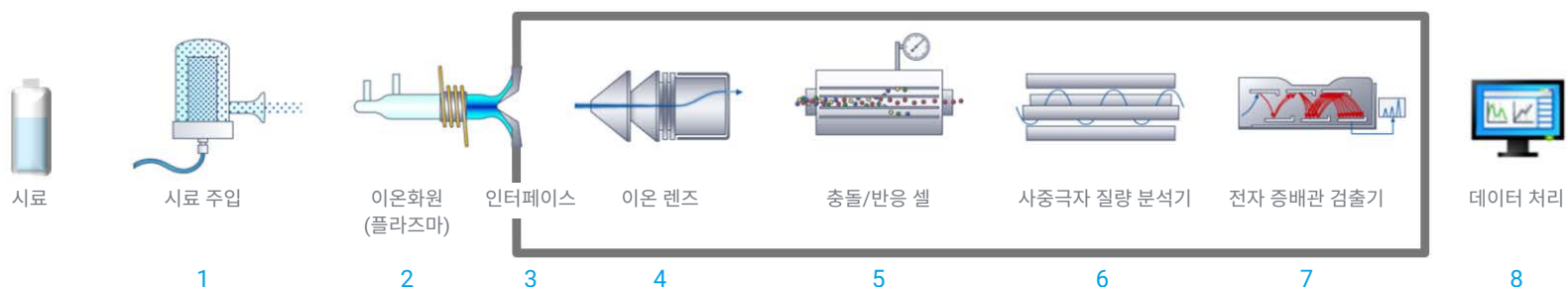


ICP-MS의 작동 방식

ICP-MS 기기는 플라즈마(ICP)를 사용해 시료에서 원소를 이온화한 다음, 질량 분석기(MS)를 사용해 이온을 측정합니다.

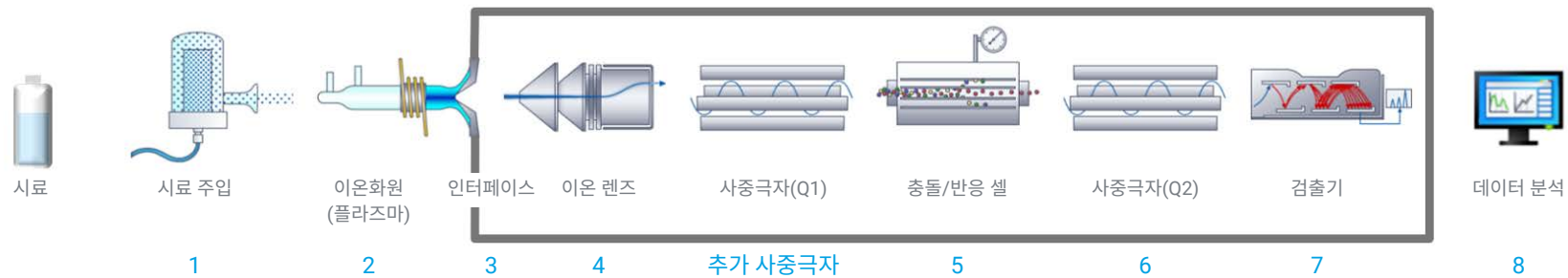
[SQ ICP-MS](#) 기기의 주요 구성 요소는 다음과 같습니다.

1. 액체 시료를 사용해 미세한 에어로졸 미스트를 만드는 시료 주입 시스템
2. 시료 에어로졸의 원소를 이온으로 변환하는 플라즈마(ICP)
3. 진공 시스템으로 이온을 추출하는 인터페이스
4. 이온을 포커싱하고 백그라운드 신호에서 분리하는 이온 렌즈
5. 간섭 이온에서 분석물질 이온을 분리하는 충돌/반응 셀(CRC)
6. 질량을 기준으로 분석물질 이온을 필터링하는 질량 분석기(MS)
7. 각 질량에서 이온의 수를 카운트하는 전자 증배관(EM) 검출기
8. 측정된 신호를 농도로 변환하는 데이터 처리 소프트웨어



SQ ICP-MS 기기의 주요 구성 요소.

QQQ ICP-MS에는 SQ 기기의 모든 구성 요소가 포함되고, 추가로 이온 렌즈(4)와 CRC(5) 사이에 다른 사중극자 질량 분석기가 있습니다. ICP-QQQ의 추가 질량 분석기(Q1)가 이온이 CRC에 도달하기 전에 이온 빔을 필터링하기 때문에 특정 시점에 단 하나의 질량만 셀로 들어갑니다. 이 이중 질량 필터 또는 “탠덤” (MS/MS) 구성은 간섭을 해결하는 데 반응 셀 가스 분석법을 안정적으로 사용해, 일부 까다로운 분석물질에 대한 정확도를 개선하고 검출 한계를 낮출 수 있다는 의미입니다.

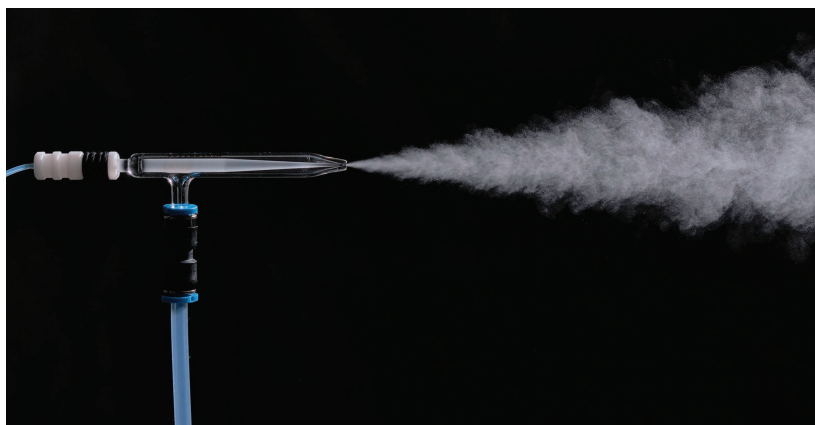


QQQ ICP-MS(ICP-QQQ) 기기의 주요 구성 요소.

ICP-MS 기기의 주요 구성 요소를 조금 더 자세히 살펴보는 것으로 시작하겠습니다.

1. 시료 주입

일반적으로 ICP-MS는 액체 시료를 측정하는 데 사용됩니다. 고체 및 기체 시료의 경우에는 적절한 액세서리를 추가해 처리할 수 있습니다. 시료 용액은 nebulizer로 펌핑되어 들어가 아르곤 가스 분출에 의해 액체 상태에서 미세 스프레이 또는 에어로졸 미스트로 바뀝니다. 에어로졸 미스트는 스프레이 챔버를 통과하며, 큰 방울이 제거됩니다. 미세한 방울은 아르곤 가스 흐름에 의해 ICP 플라즈마 토치로 들어갑니다.



Nebulizer는 액체 시료를 에어로졸로 바꿉니다.



에어로졸은 스프레이 챔버를 통과하며, 큰 방울이 제거됩니다.

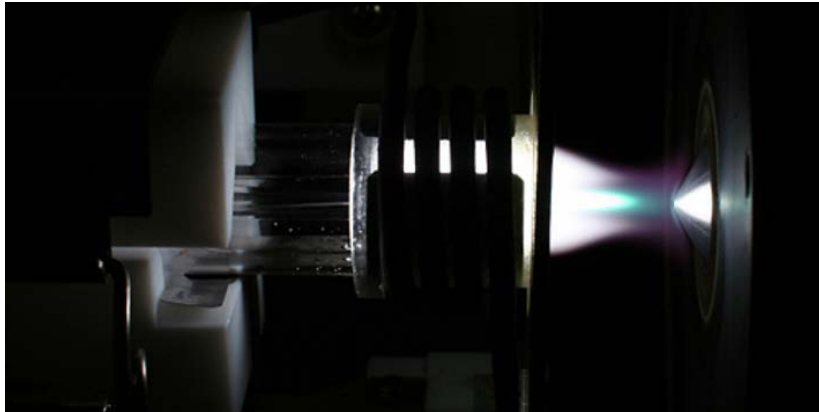
시료 주입 구성 요소는 ICP와 함께 사용할 수 있도록 선택되고 최적화됩니다. 이는 nebulizer 및 스프레이 챔버가 플라즈마에서 효과적으로 처리할 수 있는 에어로졸을 만들어내도록 설계되었다는 의미입니다. 전체적인 용액 하중, 에어로졸 밀도(방울 개수) 및 방울 크기가 핵심 요소로, 방울 형태로 전달되는 시료 물질을 건조하고 분해하는 플라즈마의 기능에 영향을 미칩니다. 플라즈마가 이온 생성에 가장 효과적인 때는 에어로졸의 작고 균일한 크기의 액상 미립자가 플라즈마 중앙 채널에 분산되어 있을 때입니다.

2. ICP(플라즈마) 이온화원

상당한 수준으로 이온화된 가스를 지칭하는 "플라즈마"라는 용어는 형광 전구 및 태양 등 다양한 사물에도 사용할 수 있습니다. ICP-MS에서 사용되는 플라즈마의 경우, 이온화된 가스는 석영 튜브를 통해 흐르는 아르곤 가스입니다. 일반 가정용 주전자 전력량의 절반에 해당하는 약 1.5KW에서 작동하는 무선 주파수(RF) 발생기가 에너지를 공급합니다. RF 에너지는 석영 튜브 외부를 감싸고 있는 유도 코일의 유도 결합을 통해 아르곤 가스 흐름으로 전달됩니다. RF 장이 아르곤 가스 흐름에 있는 자유 전자를 진동하게 만듭니다. 즉 전자를 제거하는 데 충분한 에너지를 가진 아르곤 원자와 자유 전자가 충돌하게 만들어 아르곤 원자를 이온화합니다. 새로운 아르곤 이온과 전자도 RF 장에서 진동합니다. 가스 스트림을 통해 에너지를 분산시켜, 플라즈마를 형성하는 프로세스에서 추가적인 충돌과 이온화를 이끌어 냅니다. 이온화된 아르곤 가스의 에너지 밀도가 매우 높기 때문에 ICP가 태양의 표면보다도 뜨거운 10,000도의 온도에 도달합니다!



석영 튜브를 흐르는 아르곤 가스에서 플라즈마가 형성됩니다.

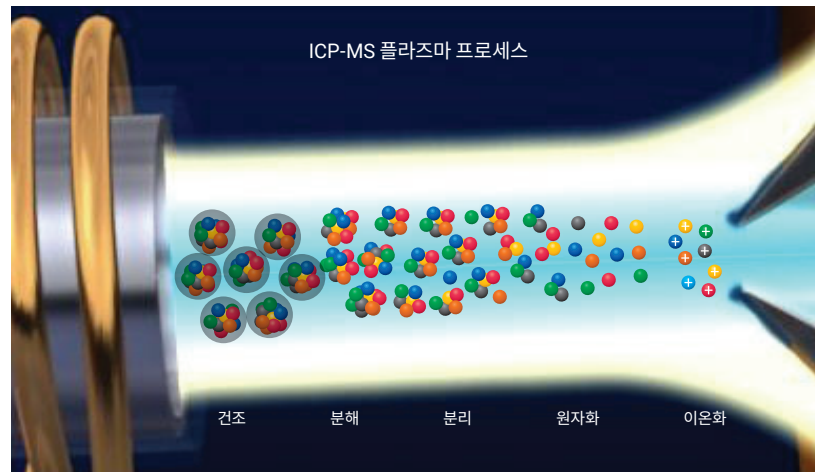


무선 주파 발생기에 의해 아르곤 가스가 이온화됩니다. 시료 에어로졸이 플라즈마 중심을 따라 이동합니다.

외부 석영 튜브를 통과하는 아르곤 가스는 분당 약 15리터의 속도로 흐릅니다. 이 "플라즈마 가스"가 플라즈마를 형성하고 석영 튜브를 냉각시켜 녹지 않도록 합니다. 크기가 더 작은 2개의 추가 석영 튜브가 외부 튜브 안에 동심으로 놓여 있어 플라즈마 "토치"를 만듭니다. 중간 석영 튜브는 녹는 것을 방지하기 위해 플라즈마 베이스를 내부 석영 튜브로부터 밀어내는 보조 가스 흐름을 전달합니다. "인젝터"라고도 알려진 가장 작은 튜브가 분당 약 1리터의 유속으로 스프레이 챔버에서 플라즈마로 에어로졸 액체 미립자를 전달합니다. 일반적으로 인젝터 튜브의 내부직경(ID)은 약 2mm 이상입니다. 따라서 운반 가스가 높은 속도로 이동하면서 플라즈마를 관통해 가늘고 긴 "토러스", 즉 도넛 모양의 구멍을 만듭니다. 에어로졸 미립자는 플라즈마 중심을 통과하며, 플라즈마 중심에서 에어로졸 미립자가 건조되고 시료 물질이 분해되어 개별 원자로 해리되고 이후에 이온화됩니다.

거의 모든 ICP-MS 기기에서 27.12MHz(초당 2,712만 사이클)의 주파수로 작동하는 RF 발생기를 사용합니다. 기존에 ICP-OES 기기에 사용되었던 표준 40.68MHz보다 낮습니다. ICP-MS에서는 주파수가 더 낮은 플라즈마를 선호합니다. 주파수가 더 낮으면 "표피 깊이"가 더 두꺼워 플라즈마 에너지가 에어로졸 액체 미립자가 처리되는 중앙 채널에 더 가깝게 확대되기 때문입니다. 이는 MS에 사용되는 ICP의 성능에 중요하며, 중앙 채널 온도가 더 높을수록 이온화 성능이 개선되어 감도가 더 높아집니다.

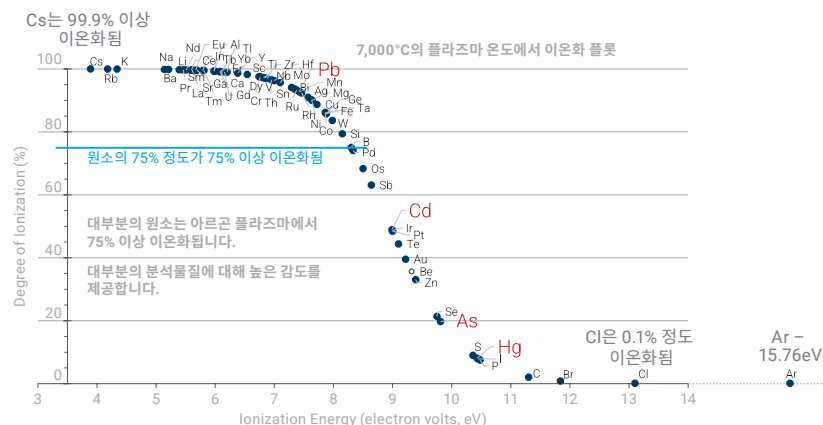
ICP-MS 플라즈마는 시료 매트릭스 분해, 잠재적인 간섭 해리, 분석 원자 이온화에 있어서 중요한 역할을 담당합니다. 사실상, ICP-MS의 전체적인 성능은 플라즈마 토치 설계와 운용 조건에 따라 크게 달라집니다. 특정 운반 가스 유속(예: 분당 1리터)의 경우 토치 인젝터를 통과하는 선형 가스의 속도는 인젝터 ID 제곱과 반비례합니다. 따라서 인젝터 ID가 1.5mm인 토치에서 인젝터 ID가 2.5mm인 토치로 변경하면 운반 가스 속도가 9.43m/s에서 3.4m/s로 거의 3배 감소합니다. 플라즈마가 에어로졸 액체 미립자를 처리해 이온을 형성하는데 소요할 수 있는 시간은 수 밀리초에 불과합니다. 따라서 운반 가스의 속도를 크게 줄이면 이러한 처리 과정이 개선됩니다. 토치 인젝터가 더 넓어지면 운반 가스 속도가 느려지기 때문에 에어로졸 액체 미립자가 플라즈마의 가장 뜨거운 부분에 더 오랫동안 노출됩니다. 이로 인해 매트릭스 분해가 향상되고, 스펙트럼 간섭 수준이 낮아지고, 분석물질 이온의 이온화가 증가합니다. 이 모든 요소가 대부분의 ICP-MS 응용에서 중요한 파라미터입니다.



플라즈마에서 에어로졸 액체 미립자를 이온으로 변환하는 프로세스.

일부 ICP-MS 응용에서는 다양한 토치 설계를 사용합니다. 옵션으로는 HF와 같이 부식성이 높은 산으로 전처리한 시료와 함께 사용하는 백금 또는 사파이어 인젝터 튜브가 장착된 분리형 토치가 있습니다. 좁은 인젝터가 장착된 토치도 선택할 수 있으며, 이는 일반적으로 휘발성 용매 및 기타 전문 응용 분야에서의 분석을 위해 사용됩니다.

플라즈마 내에서 각 원소의 이온화 정도는 원소의 이온화 에너지(또는 이온화 전위, IP) 및 플라즈마 온도에 따라 다릅니다. IP는 중성 원자에서 전자 하나를 제거해 이온을 만드는 데 필요한 에너지의 양을 의미합니다. 아르곤은 첫 번째 IP가 대부분의 다른 원소 첫 번째 IP보다는 높지만, 두 번째 IP(전자 두 개를 제거하는 데 필요한 에너지 양)보다는 낮기 때문에 ICP-MS에 사용하기에 적절한 가스입니다. 아르곤의 이러한 특성 때문에 ICP-MS 플라즈마를 통과하는 대부분의 원소가 1가로 하전된 양성 이온(M^+)으로 효율적으로 변환되고, 2가 전하 이온(M^{2+})은 소량만 형성됩니다. 일반적인 플라즈마 조건에서 대부분 자연적으로 발생하는 원소는 75% 이상 이온화됩니다. ICP-MS의 감도가 매우 높아야 하는 이유가 여기에 있습니다. 몇 가지 중요한 원소는 이온화 정도가 낮는데, 주로 Zn, Be, As, Se, Cd, Hg 및 일부 귀금속입니다. 이러한 원소에 대한 감도는 높이고 검출 한계는 낮추려면 강력한, 고온 플라즈마를 최적화하는 것이 중요합니다.

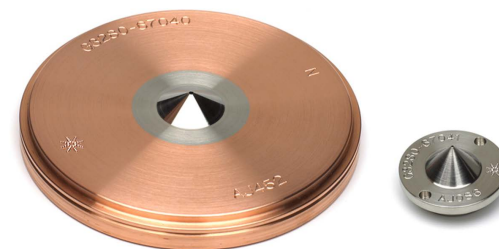


모든 원소에 대해 첫 번째 이온화 전위와 비교해 이온화 정도(이온으로 변환된 원자의 %)를 보여주는 그래프.

3. 진공 인터페이스

플라즈마 이온화원과 사중극자 질량 분석기는 플라즈마(대기압)에서 (진공 챔버의) 질량 분석기로 이온을 전달하는 진공 인터페이스로 분리됩니다. 인터페이스는 일련의 냉각된 금속 플레이트, 즉 "콘"으로 구성되어 있으며, 콘에는 이온이 통과할 수 있는 작은 구멍이 있습니다. 일반적으로 샘플링 콘을 사용해 플라즈마에서 이온을 추출한 다음, 스키머 콘을 사용해 시료가 이온 빔의 중심부에서 고진공 영역으로 통과하도록 합니다.

약 0.5 ~ 1.0mm의 작은 콘 구멍이 사중극자 질량 필터 및 검출기 작동에 최적화된 진공 조건을 제공하기 때문에 작은 콘 구멍을 선호합니다. 진공 압력이 낮으면(잔존 기체 감소) 산란 및 낮은 백그라운드 때문에 이온 전송이 증가하고, 피크 넓어짐이 감소합니다. 그러나 구멍이 작은 콘은 정밀하게 제조하는 것이 더 어렵고, 플라즈마에서 추출되어 인터페이스를 통과하는 이온이 감소합니다. 콘 구멍이 더 작아지면 플라즈마에서 시료 매트릭스가 완전히 분해되지 않는 경우 막힘 문제가 발생할 가능성이 더 높아집니다. 인터페이스 콘 구조 최적화에 따른 혜택은 플라즈마 및 이온 렌즈와 같은 기타 ICP-MS 구성 요소 설계가 최적화된 경우에만 누릴 수 있습니다.



ICP-MS 인터페이스에는 샘플링 콘(왼쪽) 및 스키머 콘(오른쪽)이 포함됩니다.

4. 이온 포커싱 및 분리

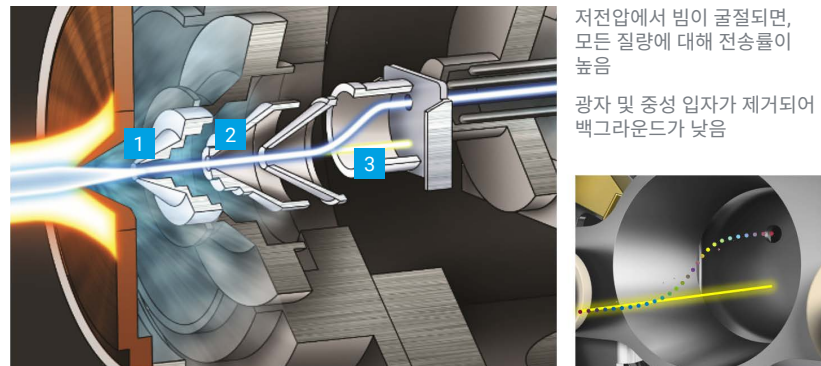
이온은 인터페이스 콘을 통과한 후 이온 "렌즈"를 사용하는 좁은 빔에 포커싱됩니다. 렌즈는 조정 가능한 전압이 가해지는 여러 개의 금속 플레이트로 구성됩니다. 양극 전압이 흐르는 플레이트는 양전하를 띤 이온을 밀어내지만, 음극 전압이 흐르는 플레이트는 이온을 끌어당깁니다. 전압이 다른 렌즈 플레이트 조합을 사용해 이온을 조정하고 포커싱합니다.

이온 렌즈는 이온을 포커싱하여 전송 및 그에 따른 감도를 극대화하는 것뿐만 아니라 플라즈마에서 추출된 중성 입자 및 광자에서 이온을 분리합니다. 이러한 하전되지 않은 입자로 인해 백그라운드 신호가 증가하기 때문에, 하전되지 않은 입자가 진공 시스템을 통과해 검출기에 도달하지 않도록 해야 합니다. 일반적으로 하전되지 않은 광자와 중성 입자가 계속 직선 형태를 유지해 이온 빔에서 제거되는 동안 이온이 축에서 굴절되도록 하는 방식을 사용합니다. ICP-MS에서 다양한 이온 렌즈 설계를 사용하지만, 모두 광자 및 중성 입자로 인한 백그라운드 신호는 최소화하면서 질량에 관계없이 모든 이온의 높은 전송을 달성하겠다는 목표는 동일합니다.

낮은 전압의 보다 부드러운 굴절이 다양한 질량의 굴절 각도에서 변화를 적게 일으키기 때문에 이를 선호한다는 점에 주목할 필요가 있습니다. 다양한 질량에 따른 가변적인 굴절로 인해 질량 바이어스(질량 차이에 따른 전송 차이)가 발생합니다. 질량 바이어스는 다원소 분석기에서 바람직하지 않은 특성입니다. 질량 바이어스가 최소화된 이온 렌즈는 균일하게 이온을 전송하기 때문에 질량 범위에서 모든 분석물질에 대한 감도는 일관되게 높고 검출 한계는 낮습니다.

이온 렌즈

1. 인터페이스를 통과하는 이온을 추출 및 가이드
2. 모든 질량을 효율적으로 포커싱하여 질량 범위에서 우수한 감도 제공
3. 광자 및 중성 입자에서 이온 분리



저전압에서 빔이 굴절되면, 모든 질량에 대해 전송률이 높음
광자 및 중성 입자가 제거되어 백그라운드 낮음

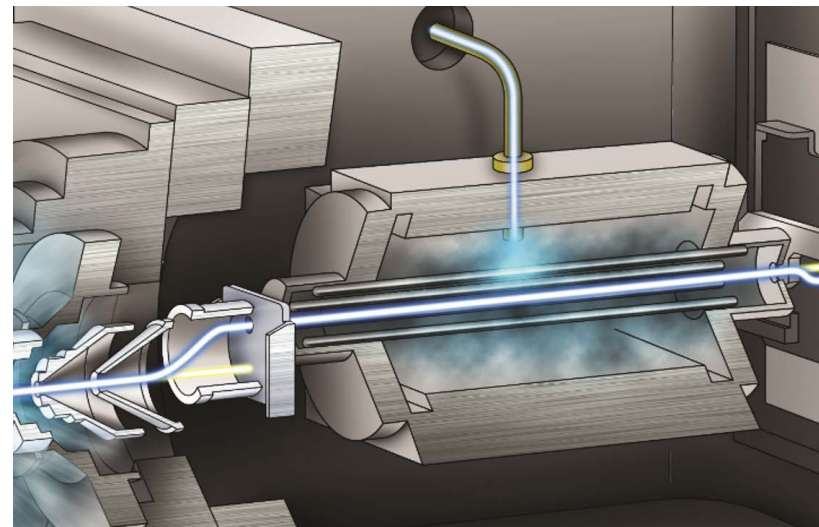
이온 렌즈의 위치 및 작동을 보여주는 단면.

5. 충돌/반응 셀

2000년대 초부터 거의 모든 새로운 ICP-MS 시스템은 충돌/반응 셀(CRC)을 포함했습니다. 이 셀은 측정하는 분석물질 이온과 동일한 질량에서 나타나는 원치 않는 이온으로 인한 스펙트럼 중첩을 해결하는 데 목적이 있습니다.

지금까지 ICP-MS에서 대부분의 심각한 스펙트럼 중첩은 분자(또는 "동중원소") 이온에 의해 발생합니다. 원자 결합이 관심 분석물질과 동일한 질량에서 이온을 형성할 때 동중원소 이온 중첩이 발생합니다. 예를 들어, ^{40}Ar 이온은 ^{16}O 이온과 결합해 질량 56에서 ArO^+ 동중원소 이온을 만들 수 있는데, 이는 철의 주요 동위 원소(^{56}Fe)와 중첩됩니다. 이와 마찬가지로 ^{40}Ar 이온은 ^{35}Cl 이온과 결합해 질량 75에서 ArCl^+ 동중원소 이온을 만들 수 있는데, 비소의 유일한 동위 원소(^{75}As)와 중첩됩니다. ICP-MS에서 동중원소 이온 중첩이 오랫동안 문제였기 때문에, 이러한 중첩을 해결하기 위한 CRC의 발전이 일상적 측정을 수행하는 많은 산업에서 ICP-MS 도입을 확대하고 분석 정확도를 개선하는 데 중요한 역할을 담당했습니다.

CRC는 가스로 압력을 가할 수 있는 밀폐된 챔버(즉 "셀")에 위치한 이온 가이드(주로 팔중극자 또는 사중극자)로 구성되어 있습니다. 작은 입구와 출구 구멍은 셀 압력을 유지하면서 이온이 셀로 드나들게 합니다. 간섭을 제거하기 위해 사용되는 프로세스는 셀에 추가된 가스에 따라 달라지는데, 광의적으로 충돌 모드와 반응 모드로 나눌 수 있습니다.



SQ ICP-MS의 질량 필터와 이온 렌즈 사이에 있는 충돌/반응 셀의 위치를 보여주는 단면. 충돌 또는 반응 가스로 셀에 압력을 가해 간섭 이온을 제거할 수 있습니다.

충돌 모드

충돌 모드의 경우 CRC에 미반응 기체, 주로 헬륨(He)을 사용해 압력을 가합니다. CRC를 통과하는 이온은 He 원자와 충돌하고, 충돌할 때마다 소량의 운동 에너지를 잃습니다. 동중원소 이온이 항상 질량이 동일한 분석물질 이온보다 크기 때문에 동중원소 이온이 분석물질 이온보다 더 자주 충돌합니다. 충돌 속도가 다르다는 것은 동중원소 이온이 셀 출구에서 방출될 때 잔존 에너지가 분석물질 이온보다 낮다는 의미입니다. 저에너지 이온은 운동 에너지 판별(KED)이라고 불리는 프로세스를 사용하는 양(+)-의 바이어스 전압 "단계"를 통해 이온 빔에서 배제됩니다.

충돌 모드의 경우 이온 에너지 확산이 좁은 상태의 셀로 모든 이온이 들어가야 합니다. 또한, 이온 가이드가 산란 손실을 최소화해, 높은 셀 가스 압력에서 높은 이온 전송 및 효과적인 KED에 필요한 높은 충돌 속도를 제공해야 합니다.

동일한 셀 조건을 사용해 다양한 시료 유형의 다양한 분석물질 질량에서 여러 동중원소 이온 중첩을 해결할 수 있기 때문에 He KED는 보편적인 CRC 모드로 간주할 수 있습니다.

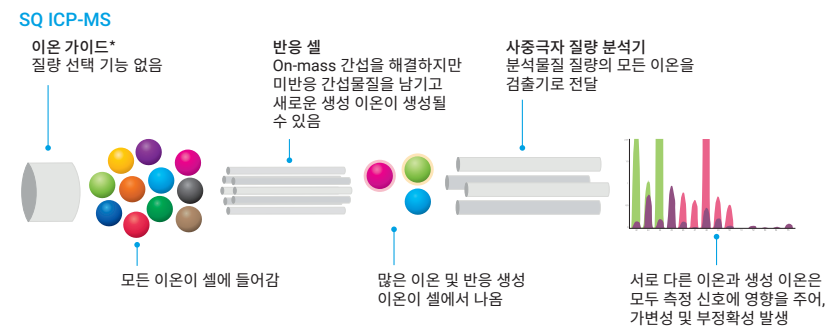
반응 모드

반응 모드에서는 충돌 모드와 동일한 CRC 하드웨어를 사용하지만, He가 아니라 H₂, O₂, NH₃, CH₄, N₂O, CH₃F와 같은 반응 가스를 사용해 셀에 압력을 가합니다. 이온과 셀 가스 분자 사이의 반응은 처음 몇 번의 충돌에서 이루어지는 경우가 많기 때문에 반응 모드가 매우 효율적일 수 있습니다. 반면에, He KED에는 여러 번의 충돌이 필요해 셀 가스 압력이 더 높아야 합니다. 간섭 이온과의 다양한 반응 케미스트리 및 분석물질 동위 원소를 기준으로 가스를 선택해야 하기 때문에 반응 가스 분석법이 He KED보다 더 구체적입니다. 따라서 분석가는 반응 가스를 선택하기 전에 해결하려는 간섭 이온이 무엇인지 알아야 합니다.

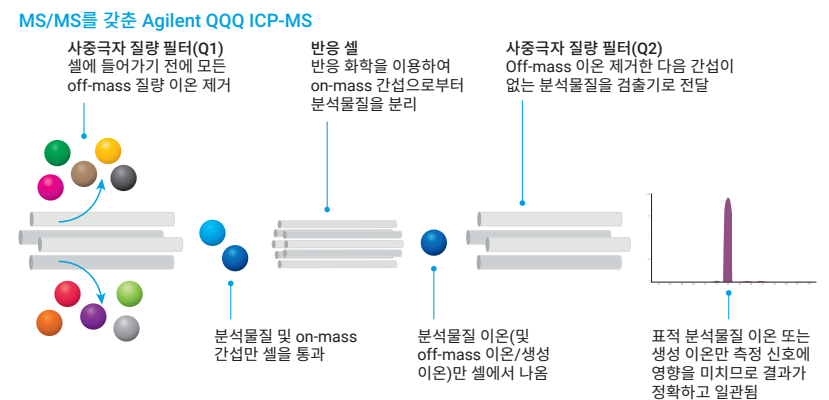
반응 셀 가스는 동중원소 이온을 제외한 간섭을 해결하는 데 사용할 수 있다는 점에서 He KED와 다릅니다. 동중이온 중첩, 2가 전하 이온 중첩, 인접 질량 피크-테일링 중첩과 같은 다른 스펙트럼 중첩은 동중원소 간섭보다 적게 발생하지만, 여전히 중요합니다.

He KED와 비교해 다른 주요한 차이점은 반응 셀 가스가 필수 분석물질과 중첩될 수 있는 새로운 반응 생성 이온을 형성할 수 있다는 점입니다. 새로운 생성 이온 간섭 가능성 때문에 SQ ICP-MS 사용자는 시료 매트릭스가 일관되고 간섭이 예측 가능한 경우에만 반응 가스 분석법을 사용하려는 경향을 나타냅니다. 그러나 이러한 제한은 MS/MS 모드의 QQQ ICP-MS(ICP-QQQ)에는 적용되지 않습니다. ICP-QQQ 기기의 CRC 앞에 사중극자 질량 필터를 추가하면, 시료 매트릭스가 달라지더라도 CRC로 들어가는 이온 빔의 조성이 일관적입니다. 그에 따라 MS/MS가 반응 케미스트리를 제어하고 셀에서 형성된 생성 이온 중첩이 생길 가능성을 제거합니다.

QQQ ICP-MS의 추가 질량 필터(Q1)가 CRC에서 반응 케미스트리를 제어하는 방법은 아래 개략도에 설명되어 있습니다.



*사중극자 이온 가이드는 저질량 차단 또는 밴드패스 필터로 작동하여 전부는 아니더라도 일부 비표적 이온 제거 가능

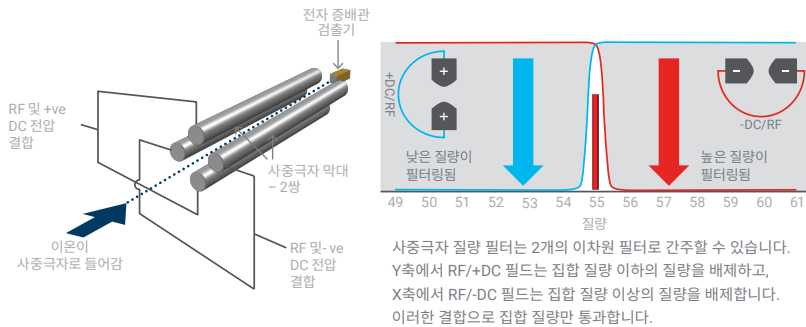


SQ ICP-MS(상단) 및 QQQ ICP-MS(하단)의 반응 모드 비교 개략도.

6. 질량 분석기(MS)

대부분의 ICP-MS 기기는 사중극자 (또는 "quad") 질량 분석기를 사용해 질량 또는 보다 정확하게는 질량 대 전하비(m/z)를 기준으로 이온을 필터링합니다. ICP에서 생성되는 대부분의 이온이 1가로 하전되기 때문에($m/z = \text{질량}$) ICP-MS는 일반적으로 "질량 스펙트럼"을 생성하는 것으로 간주될 수 있습니다.

사중극자 질량 필터가 두 쌍의 막대로 구성되어 있는데, 마주 보는 두 쌍의 막대가 분리된 전기 공급 장치에 연결되어 있습니다. 탈조 RF 전압 및 양극 또는 음극 DC 전압이 두 쌍의 막대에 전달됩니다(Y축 막대의 경우 RF/+DC, X축 막대의 경우 RF/-DC). 막대 사이에 있는 공간에 형성되는 전기장이 사중극자 축을 따라 안정적으로 이동해 질량 필터를 통과할 수 있는 이온의 "집합 질량"을 결정합니다. 교차 전기장이 집합 질량보다 높거나 낮은 모든 이온의 궤도를 불안정하게 만들기 때문에 집합 질량을 제외한 다른 질량의 이온이 이온 빔에서 배제됩니다.



대부분의 ICP-MS 기기에서 사용되는 사중극자 질량 필터. RF 및 DC 전압이 질량 대 전하비(m/z)를 기준으로 이온을 필터링해 한 번에 $1m/z$ 만 검출기를 통과하도록 합니다.

사중극자 집합 질량은 가해진 막대 전압에 의해 제어되는데, 이 전압은 매우 빠르게 변할 수 있습니다. 이는 사중극자가 질량 범위에서 매우 빠르게 스캔할 수 있다는 의미입니다. 예를 들어, Li(질량 7) ~ U(질량 238)의 경우 초당 10배 이상 빠릅니다. 사중극자가 스캔할 때마다 각 질량에 존재하는 이온이 검출기를 통과하고 카운트됩니다.

일반적인 정량 "스펙트럼" 및 동위원소 비율 분석에서 질량 스펙트럼은 선택한 질량에서 여러 번의 스캔을 통해 하나씩 쌓아 완성합니다. 다른 측정 모드에는 각 사중극자 스캔으로 수집한 이온 카운트를 시간 기반 스케일에 저장하는 시간 분해 분석(TRA)이 포함됩니다. 단일 질량 모니터링도 사용할 수 있으며, 이는 일반적으로 단일 나노입자 분석과 같은 측정에 사용됩니다.

7. 전자 증배관 검출기

대부분의 ICP-MS 시스템에 사용되는 검출기는 Discrete Dynode Electron Multiplier(DDEM)입니다. EM은 사중극자에서 방출되는 이온이 다이노드와 충돌하도록 배치되어 있는 고전압 전극(즉 다이오드)을 사용합니다. 첫 번째 다이노드와 충돌한 각 이온이 다이노드 표면에서 여러 전자를 방출합니다. 이러한 전자가 두 번째 다이노드와 충돌하고, 또다시 전자가 방출되어 세 번째 다이노드와 충돌하고 이러한 현상이 검출기까지 이어집니다. 마지막 다이노드까지 전자 캐스케이드가 EM 전자 장치에서 펄스 또는 "카운트"로 기록될 수 있도록 충분히 높은 수준으로 빌드업되었습니다. 초당 약 100만 카운트 이상(CPS)의 매우 높은 이온 카운트율에서 검출기가 자동으로 낮은 게인(즉 "아날로그") 모드로 변경됩니다. 이를 통해 검출기에 과부하가 발생하지 않고 고농도 원소의 강한 신호를 측정할 수 있습니다.

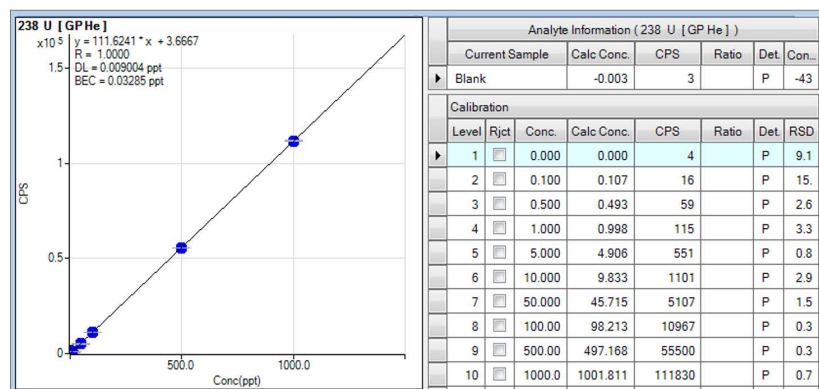


이온 펄스 또는 카운트 생성을 위해 검출기 다이노드까지 전자 캐스케이드가 빌드업되는 모습을 보여주는 전자 증배관(EM) 검출기.

EM 검출기는 개별 이온을 검출할 수 있기 때문에 초저 농도도 검출할 수 있습니다. 또한 EM의 측정 범위는 약 열 자릿수 또는 열한 자릿수로 매우 넓습니다. 실제 분석 측면에서 설명하면, ICP-MS가 농도가 0.1ppt(0.0000001ppm) 이하인 우라늄과 같은 극미량 원소를 검출할 수 있을 뿐만 아니라 1.18%(11,800ppm)의 농도로 해수에 들어 있는 나트륨과 같은 주요 원소도 측정할 수 있다는 의미입니다. 동일한 수집에서 측정되는 열한 자릿수 이상의 전체 농도 범위.

8. 데이터 처리

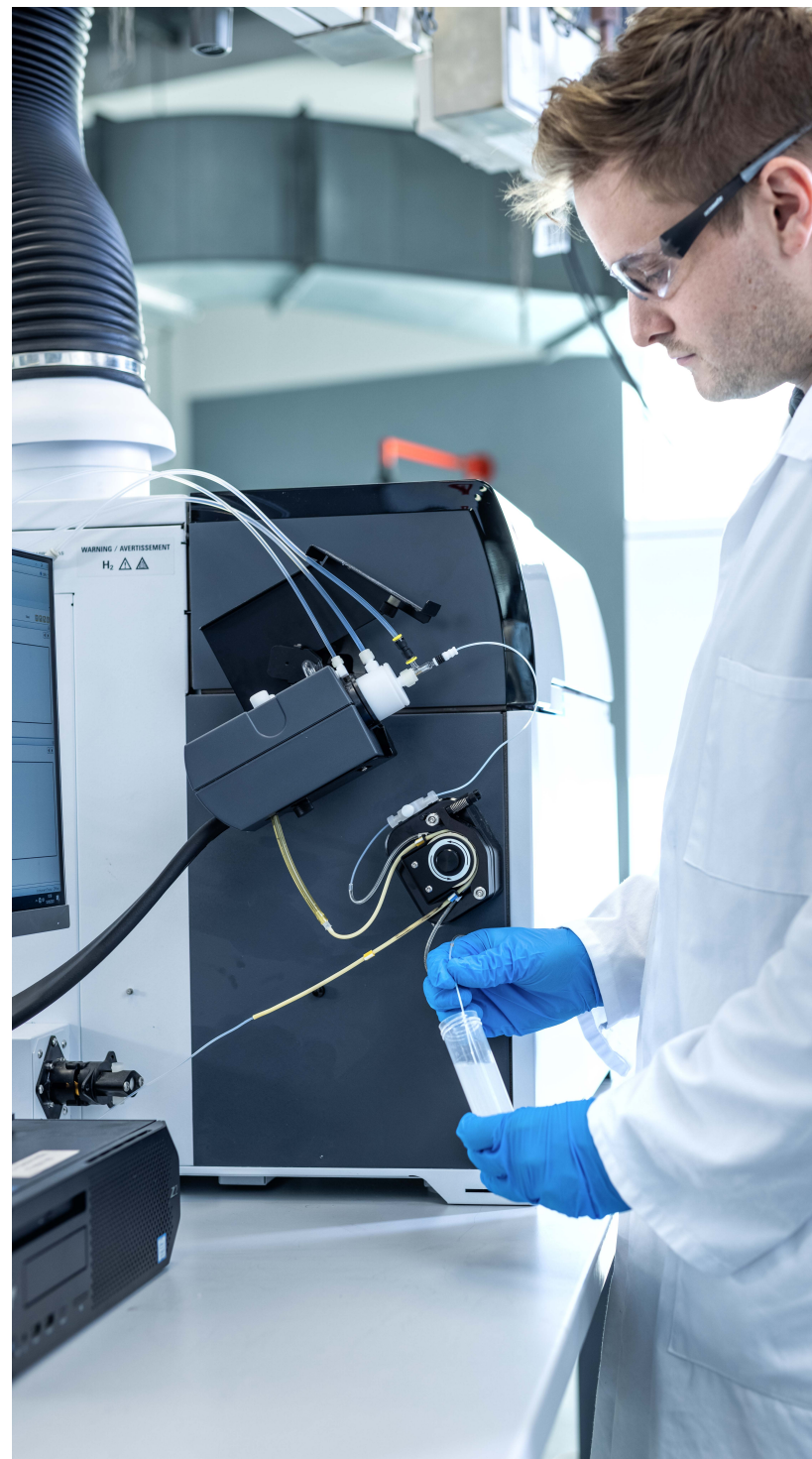
측정된 각 질량의 경우, 기기를 제어하는 컴퓨터에 설치된 데이터 분석 소프트웨어가 검출기에 등록된 카운트를 처리합니다. 일반적인 정량 분석의 경우 소프트웨어에서 시료에서 측정된 카운트와 알려진 농도 참조 용액의 카운트를 비교해 미지 시료의 각 원소 농도를 계산합니다. 일반적으로 여러 참조 용액 또는 "표준물질"을 측정해 각 원소에 대해 알려진 농도를 카운트와 비교해 검량 플롯을 만듭니다.



ICP-MS 우라늄 정량에 대한 일반적인 검량 플롯, 0.1 ~ 1,000ng/L 사이의 농도로 준비한 10가지 표준물질 사용.

다른 유형의 ICP-MS 측정에는 피크 적분과 같은 크로마토그래피 데이터 분석 도구를 사용하는 종 분리(speciation) 분석 및 전문화된 데이터 처리 도구를 사용하는 단일 입자 및 단일 세포 응용 분야가 포함됩니다.

Agilent [7850 ICP-MS](#), [7900 ICP-MS](#), [8900 ICP-QQQ](#) 모델과 이러한 모델이 실험실을 혁신하는 방법에 대해 자세히 알아보세요.



ICP-MS의 용도

ICP-MS를 사용해 원소 분석을 수행하는 실험실이 많은 시료를 분석하고 각 시료에서 많은 원소를 측정하는 산업에 속하는 경우가 많습니다. 이러한 산업의 예로는 (강물, 먹는물, 강 하구 및 해수, 폐기물, 토양 및 퇴적 분해물, 생물군 등의) 환경 모니터링, 식품 안전에 대한 일상적 측정, 의약품 재료 분석, 소비재 테스트(장난감, 섬유 등)이 포함됩니다. ICP-MS가 널리 사용되는 기타 산업에는 반도체 및 순수 화학물질 제조, 생명 과학, 임상 연구, 지구 화학, 광업, 핵 과학, 석유화학 및 재생 가능 에너지, 재료 연구, 계측, 학계가 포함됩니다.

액체 시료 분석

지금까지 시료를 ICP-MS 기기에 주입하는 가장 일반적인 방법은 액체 시료 주입입니다. 액체 검량 표준물질이 널리 사용되고 적절한 농도의 모든 필수 분석물질을 사용해 쉽게 준비할 수 있다는 점을 이유로 들 수 있습니다. 액체 시료 분석이 매우 편리하기 때문에 시료 매트릭스를 용해하기 위한 산 분해 또는 분석물질을 분석 용액으로 추출하기 위한 산 추출을 사용해 고체 시료를 액체로 변환하는 경우가 많습니다. 대부분의 일상적 ICP-MS 응용에서는 액체 시료를 주입하는 데 일반적인 공압 nebulizer를 사용합니다. 관심 원소의 총 농도는 알려진 농도의 표준물질 분석을 통해 생성된 검량과 비교해 측정합니다.

실험실에서 매우 많은 수의 시료를 측정해야 한다면, "개별 샘플링" 장치를 사용하는 경우가 많습니다. 이러한 장치는 시료를 루프에 주입한 다음, ICP로 흘러가는 운반 스트림에 루프의 내용물을 주입하는 방식으로 작동합니다. 개별 샘플링은 이전 시료를 측정하는 동안 다음 시료가 루프에 주입되도록 하는 방식으로 ICP-MS 분석 속도를 높입니다. 따라서 전체적인 ICP-MS 분석 속도가 빨라지기 때문에 3회 다원소 분석의 경우 일반적인 분석 시간이 시료 당 약 3분에서 시료 당 1분 이하로 감소합니다.

ICP-MS 응용에는 동위원소 비율 또는 동위원소 희석 분석에서처럼 다양한 동위원소의 상대적인 존재비가 관심 원소보다 일반적이지 않은 특이한 측정이 포함됩니다. 또한, ICP-MS는 전체 질량 범위에서 스캔을 빠르게 수행하기 때문에 특정 검량 표준물질 없이도 모든 원소에 대한 대략적 또는 "반정량"

결과를 제공합니다. 이러한 유형의 스크리닝 분석은 환경 또는 식품 시료에 대한 오염물질 조사, 중금속 중독 원인 파악, 제품 결함 파악에 매우 유용합니다.

일부 응용의 경우 일반적인 "총" 원소 농도 측정으로는 충분한 정보가 제공되지 않습니다. 이러한 경우 원소의 다양한 화학적 형태 또는 "종"에 대한 별도의 분석이 필요할 수 있습니다.



종 분리(speciation) 분석

ICP-MS 종 분리(speciation) 분석에는 ICP-MS를 몇 가지 형태의 크로마토그래피 장치에 연결해 원소의 다양한 화학적 형태를 분리하는 것이 포함됩니다. ICP-MS는 일반적으로 원소 신호를 검출하지만, 별도의 검출 및 정량을 위한 다양한 화학물질 형태가 ICP-MS에 순차적으로 포함되고 있습니다. 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC, "LC"라고 부르는 경우도 많음)가 가장 많이 사용되는 분리 기법이고, ICP-MS와 함께 사용되는 다른 분리 기법으로는

이온 크로마토그래피(IC), 가스 크로마토그래피(GC), 캐필러리 전기영동(CE), 장 흐름 분획법(FFF), 수력학적 크로마토그래피(HDC)가 있습니다. 종 분리(speciation) 분석이 필요한 응용의 예로는, 3가 형태(Cr(III))는 무해하지만, 6가 형태(Cr(VI))에는 독성이 있는 다양한 형태의 크롬(Cr) 분리가 있습니다(1). 이와 마찬가지로 무기 비소(As)는 일부 해산물에서 높은 농도로 확인되는 일반적인 유기 형태보다 훨씬 더 해롭습니다(2). 그리고 식품 안전 확인 시에는 단순히 총 수은 및 총 주석만 확인하는 게 아니라 어류 및 조개류에서 메틸 수은 및 유기주석 화합물의 농도를 구체적으로 확인해야 할 수 있습니다.

하지만, ICP-MS를 사용하는 종 분리(speciation) 분석은 환경 및 식품 시료에 포함된 원소의 독성 및 비독성 형태를 분리하는 것에서 그치지 않습니다. 많은 산업 공정에서 제품이 의도한 기능을 발휘하는지 확인하거나 공정에 영향을 미치거나 원치 않는 배출로 이어질 수 있는 오염물질을 식별하기 위해 원소의 다양한 형태를 평가해야 합니다. 이러한 유형의 산업 종 분리 측정 예로는 금속 약제의 오염물질 화합물 측정과 분해 공정 장비의 부식 및 촉매 독(catalyst poisons)을 피하기 위한 석유화학 정제 시설 공급 원료의 수은 화합물 모니터링이 있습니다. 반도체 제조의 경우 GC-ICP-MS를 사용해 비실리콘 반도체 장치 제조 시 전구물질로 사용되는 아르신 가스에서 극미량 수소화물 가스 오염물질을 측정합니다.

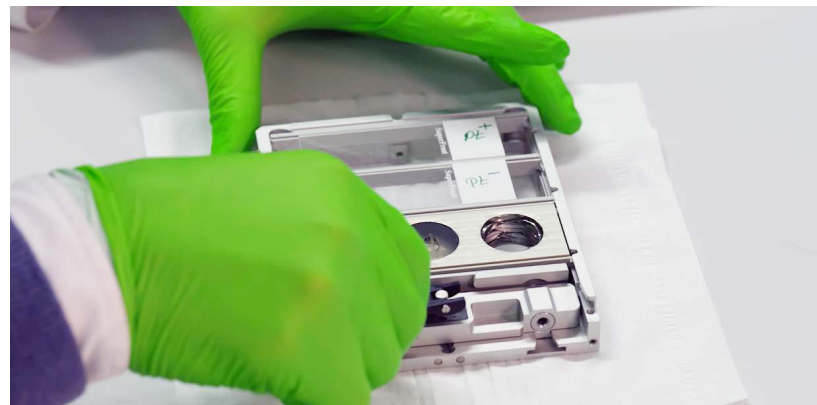
나노입자 및 단일 세포

ICP-MS는 시료 용액에 용해된 원소의 양을 측정하는 것뿐만 아니라 액체에 부유화된 작은 입자의 조성을 측정하는 데도 사용할 수 있습니다. 큰(미크론 크기) 입자는 ICP-MS 스프레이 챔버 및 nebulizer에 의해 제거되기 때문에 측정할 수 없습니다. 그러나 매우 작은(나노 크기) 입자는 에어로졸 액체 미립자에 부유화된 상태로 플라즈마로 이동합니다. 이러한 "나노입자"(NP)가 플라즈마에서 파괴되고 원자화될 때, 용해된 원소의 일정한 백그라운드 신호보다 높은 신호 펄스로 검출할 수 있는 이온 "기둥"이 생깁니다. 연구자들이 NP가 환경 및 생물학적 시스템에 미치는 영향에 대한 이해를 확대하기 위해 노력하면서 단일 입자 ICP-MS(spICP-MS)를 사용하는 나노입자 분석에 대한 관심이 증가하고 있습니다. NP 또한 산업 공정, 소비재, 페인트, 코팅, 약물 전달 및 농약과 같은 응용 분야에서 점점 더 널리 사용되고 있습니다. 비슷한 분석에서는 특수한 낮은 유량 시료 주입 시스템을 사용해 원형 단일 세포를 플라즈마(단일 세포 ICP-MS(scICP-MS))로 전달합니다. 이 접근법을 사용하면 개별 세포의 금속 함량을 측정해 생물학적 공정 및 바이오 의약품 공정에 대한 이해를 높이는 데 도움을 줄 수 있습니다.

고체 시료 분석

액체 샘플링이 주를 이루는 하지만, 고체도 적절한 액세서리를 사용하면 ICP-MS에서 분석할 수 있습니다. Laser Ablation(LA) 장치를 ICP-MS에 연결해 LA-ICP-MS에서 직접 고체 분석을 수행할 수 있습니다. LA-ICP-MS에는 특수 설치를 통해 시료를 챔버에 놓은 다음, 펄스 레이저의 고에너지 빔을 시료 표면에 포커싱하는 단계가 포함됩니다. 시료 표면에서 제거되고 기화된 고체 입자가 가스 스트림(대개 헬륨)과 함께 휩쓸려 ICP 토치로 이동합니다. ICP 토치에서 고체 입자가 일반적인 에어로졸 액체 미립자와 같은 방식으로 분해, 해리, 원자화, 이온화됩니다.

LA-ICP-MS가 재료 분해가 어려울 수 있는 금속, 합금, 유리 및 세라믹 품질관리와 같은 응용 분야의 벌크(전체 시료) 분석에서 사용되는 경우가 있습니다. 그러나 LA-ICP-MS의 진정한 이점은 몇 마이크로에 불과한 빔 사이즈로 레이저를 포커싱하여 작은 시료 또는 더 큰 시료의 매우 작은 부분을 분석할 수 있다는 것입니다. 이러한 기능을 사용하면 원석, 고고학적 인공물, 도자기, 동전, 페인트 조각 등과 같은 귀중한 시료를 거의 파괴하지 않고 분석할 수 있습니다. 입자를 샘플링 필터에서 수집하는 부유 미립자에 대한 LA-ICP-MS 분석에 비슷한 접근법을 사용해 환경 및 작업장 분진 분석을 위한 개별 입자에 대한 조성 정보를 제공합니다. 범죄수사학, 교통사고 현장의 유리 조각, 몸값을 요구하는 협박 편지에 사용한 펜의 잉크, 옷의 섬유, 신발 밑창에 묻은 흙, 발사 잔류물과 같은 범죄 현장 잔해물 및 기타 다른 물질 분석에서도 LA-ICP-MS를 사용합니다.



Laser ablation을 위해 시료 홀더에 고체 시료를 장착, 이 경우에는 현미경 슬라이드에 생물학적 시료를 장착.

1. L. M. Calder, in: J. O. Nriagu and E. Nieboer, Eds., *Chromium in the Natural and Human Environments*, Wiley and Sons, New York, 1988, 215-229
 2. European Food Safety Authority, *Scientific opinion on arsenic in food*, EFSA Journal, 2009, 7, 1351

정밀 자동화 시료 위치 제어 장치와 함께 사용하는 경우 LA-ICP-MS를 시료 내 원소 분포 2D 또는 3D 맵핑("이미징"이라고 함)에 사용할 수 있습니다. 시료 표면에서 laser ablation "스팟"을 천천히 이동하면서 ICP-MS를 계속해서 스캐닝하면 시료 조성의 화학적 프로파일 또는 맵을 만들 수 있습니다. LA-ICP-MS 이미징은 지질학적 연구(지오 이미징)에서 사용되고 있으며, 동일한 기법을 치아, 뼈 및 조직 절편과 같은 생물학적 재료(바이오 이미징)에 적용할 수 있습니다.

가스 분석

가스 원소 직접 분석을 위한 특수 가스 처리 장치를 사용해 가스를 ICP에 주입합니다. ICP-MS 가스 분석 응용에는 천연 가스 내 휘발성 유기 금속 화합물 측정, 성분 및 식료품의 향미료 및 향료 테스트를 위한 헤드스페이스 샘플링, 화학물질 및 석유화학 제조 원료 내 극미량 오염물질 측정이 포함됩니다. 상당수의 이러한 응용은 가스 크로마토그래피(GC)를 가열 이송 라인을 사용해 ICP-MS 기기에 연결하는 GC-ICP-MS를 사용해 수행할 수 있습니다. GC가 표준 가스 샘플링 액세서리를 사용해 시료를 처리하고, 화합물이 GC 컬럼에서 방출될 때 ICP-MS가 화합물을 검출하고 정량화합니다. GC-ICP-MS 응용은 유기 GC 질량 분석법(GC/MS)과 유사한 측면이 있지만, ICP-MS로 측정할 수 있는 이종원소가 함유된 화합물의 경우 ICP-MS 검출기는 검출 한계는 낮추고, 특이성은 향상시키고, Compound-Independent Calibration 가능성은 높입니다.

기체 시료 직접 분석 또한 제조 공정에서 유기 금속 가스를 사용할 수 있는 반도체 제조 공정 제어 및 작업장 모니터링과 같은 응용 분야에서 중요성이 확대되고 있습니다. 가스 교환을 통해 공정 가스의 화합물을 아르곤 스트림으로 전송한 다음 ICP로 전달하는 가스 교환 장치(GED)가 장착된 ICP-MS 기기를 사용하는 분석법이 개발되었습니다.



어떤 유형의 ICP-MS가 귀하의 응용에 적합할까요? ICP-MS 또는 ICP-QQQ?

SQ ICP-MS는 ICP-QQQ에 비해 구매 가격과 운영 비용이 약간 저렴합니다. ICP-QQQ는 비록 실행하는 분석법에 따라 다르지만, 설정하고 작동하기 위해 어느 정도 높은 수준의 기술이 필요합니다. ICP-QQQ에서는 SQ ICP-MS용으로 개발된 많은 분석법을 변경 없이 실행할 수 있습니다. 반응 셀 가스를 사용하는 분석법은 ICP-QQQ에서 실행하는 경우 일관성 및 신뢰성이 훨씬 더 높습니다.

왜 ICP-QQQ일까요?

ICP-QQQ는 SQ ICP-MS에 비해 감도는 훨씬 더 높고 백그라운드는 훨씬 더 낮습니다. 일반적으로 대부분의 원소에서 ICP-QQQ의 검출 한계가 약 10배 정도 더 낮습니다.

ICP-MS/MS의 더블 질량 선택 기능을 사용하면 인접한 질량 중첩을 탁월하게 분리할 수 있기 때문에 이 기법으로 주요 피크에서 극미량의 피크를 분리할 수 있습니다(예를 들어, Fe 매트릭스에서 극미량 Mn, C 매트릭스에서 B, U 매트릭스에서 Np).

그러나 ICP-QQQ의 주요 장점은 이 구성이 사중극자 1과 사중극자 2 모두가 단위 질량 필터로 작동되는 MS/MS 작동 모드를 지원한다는 점입니다. MS/MS 작동 모드에서는 ICP-QQQ가 반응 셀 가스를 사용해 SQ ICP-MS로는 해결할 수 없는 스펙트럼 간섭을 해결할 수 있습니다. Q1은 다른 모든 질량을 배제하면서 셀로 들어가는 분석 이온 질량을 선택합니다. 이렇게 하면 셀 내의 이온이 일관되고 시료 조성과 독립적이기 때문에 반응 셀 가스 분석법을 안정적으로 사용해 다양한 시료 유형에 관련된 결과를 제공할 수 있습니다.

ICP-QQQ는 이러한 반응 화학 제어를 통해 기존의 SQ ICP-MS를 사용하여 처리할 수 없는 간섭 문제를 해결할 수 있습니다. 직접 동중원소 중첩(예: ^{204}Pb 에서 ^{204}Hg , ^{176}Hf 에서 $^{176}\text{Yb/Lu}$) 해결 및 2가 전하 이온 중첩(예: As 및 Se에서 REE^{2+} 중첩) 분리가 포함됩니다. 반응 셀 가스를 사용해 매우 강력한 백그라운드 간섭을 제거할 수도 있습니다. 예를 들어, Si, P, S 원소는 SQ ICP-MS로 측정할 경우 강한 스펙트럼 간섭(^{28}Si 에서 N_2 , ^{31}P 에서 NOH , ^{32}S 에서 O_2)을 겪기 때문에 검출 한계는 상대적으로 좋지 않습니다. 반응 셀 가스를 사용하는 ICP-MS/MS 분석법은 이러한 간섭을 해결할 수 있어 까다로운 원소를 극미량 수준에서 측정할 수 있습니다.

10분 가이드

LabTube에서 제공하는 이 짧은 동영상은 QQQ ICP-MS(ICP-QQQ)에 대한 쉽고 간단한 설명을 제공합니다. ICP-QQQ를 SQ ICP-MS와 비교하고 ICP-QQQ의 실질적인 응용 이점을 보여줍니다.

Key Feature of ICP-QQQ

ICP-QQQ is a tandem MS (MS/MS). Can apply 2 mass filtering steps

| Single quadrupole ICP-MS | Triple quadrupole ICP-MS |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Can use He collision mode to remove common polyatomic ion overlaps Cannot control product ions formed when reactive cell gases are used | <ul style="list-style-type: none"> Can use He collision mode to remove common polyatomic ion overlaps Uses MS/MS to control reaction gas modes 2x mass filters improves peak separation |
| <p>Ion guide before cell* No (or limited) mass selection function</p> <p>Reaction cell (with single quad) Reaction chemistry can be used to resolve analyte from ligands, on-mass interferences, but other ion masses enter the cell and can react to form new (overlapping) product ions</p> <p>Quadrupole mass analyzer Passes all ion masses to detector</p> <p>Mass filter (Q1) before cell Rejects all off-mass ions before they enter the cell</p> <p>Reaction cell Same reaction chemistry resolves analyte from on-mass interferences. Q1 ensures no new overlapping product ions can form from other masses</p> <p>Mass filter (Q2) after cell Rejects off-mass ions/product ions and passes interference-free analyte ions to detector</p> | <p>Ion guide before cell* No (or limited) mass selection function</p> <p>Reaction cell (with single quad) Reaction chemistry can be used to resolve analyte from ligands, on-mass interferences, but other ion masses enter the cell and can react to form new (overlapping) product ions</p> <p>Quadrupole mass analyzer Passes all ion masses to detector</p> <p>Mass filter (Q1) before cell Rejects all off-mass ions before they enter the cell</p> <p>Reaction cell Same reaction chemistry resolves analyte from on-mass interferences. Q1 ensures no new overlapping product ions can form from other masses</p> <p>Mass filter (Q2) after cell Rejects off-mass ions/product ions and passes interference-free analyte ions to detector</p> |

QQQ (MS/MS) gives more options for controlling/resolving spectral interferences

어떤 원소 분석 기법이 요구 사항에 부합하는지 확신이 서지 않으십니까?

애질런트의 제품 선택 도구를 사용하여 찾아보세요.

Trusted Answers

Elemental Analysis Product Selector Tool

You know you need to measure elements in your samples, but which analytical technique should you choose? If you are new to atomic spectroscopy the range of different techniques can seem bewildering. The value of knowing which technique will meet your needs both now and in the future is immense. Use this tool to find what's right for you.

1. Do you need to measure any of these elements?

Ar H He Kr N Ne O Xe

Yes

No

측정할 수 있는 원소

ICP-MS 및 ICP-QQQ는 자연적으로 발생하는 거의 모든 원소와 테크네튬, 넵투늄, 플루토늄, 아메리슘과 같은 비자연적인 "방사성" 동위원소를 상당히 측정할 수 있습니다. 측정할 수 없는 유일한 원소는 (질량 분석기의 질량 범위보다 낮은) H 및 He, (플라즈마 및 공기보다 높은 농도로 존재하는) Ar, N 및 O, (아르곤 플라즈마에서 이온화할 수 없는) 불소 및 네온입니다. 크립톤 및 크세논과 같은 다른 비활성 기체는 ICP-MS 또는 ICP-QQQ에 연결하는 가스 샘플링 장치를 사용해 기술적으로 측정할 수 있지만, 일상적인 표준 응용은 아닙니다. "불가능한" 원소 중에서 불소는 ICP-QQQ를 사용해 간접적으로 분석할 수 있습니다. 사이드바를 참조하세요.

The periodic table below indicates which elements can be measured by ICP-QQQ. Elements shown in blue are measurable, while those in grey are not. The measurable elements include: H, Li, Be, B, C, N, O, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ar, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Lr, Rf, Db, Sg, Bh, Hs, Mt, Ds, Rg, Cn, Nh, Fl, Mc, Lv, Ts, Og, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No.

ICP-QQQ는 파란색으로 표시되는 모든 원소를 측정할 수 있습니다.

ICP-QQQ를 사용해 불소(F) 측정

F는 첫 번째 이온화 전위가 매우 높기 때문에(아르곤 이온화 전위보다도 훨씬 높음) 실질적으로 아르곤 플라즈마에서 양전하를 띤 F⁺ 이온을 형성하지 않습니다. 또한, ¹⁸O⁺H⁺ 때문에 질량 19에서 백그라운드가 매우 높습니다. F를 음이온(F⁻)으로 측정하는 것이 더 나은 솔루션으로 보고되었지만, OH⁻의 백그라운드도 매우 높습니다. 그러나 바륨 용액을 온라인으로 추가해 플라즈마에서 BaF⁺ 이온을 형성하는 방식으로 F를 양이온(일반적인 ICP-MS 분석물질과 비슷함)으로 측정할 수 있습니다. 과량의 Ba(약 100ppm)를 추가하면 형성되는 BaF⁺ 이온은 용액의 F 농도와 비례합니다. 따라서 BaF⁺ 이온을 측정할 수 있고 신호를 사용해 시료의 F 농도를 검량 및 정량화할 수 있습니다.

이 분석에 ICP-QQQ가 필요한 이유는 분석에 사용되는 질량에서 BaF⁺ 이온과 중첩되는 다른 이온이 여러 개 있기 때문입니다(¹³⁸Ba¹⁹F⁺ 이온은 질량 157에서 측정됨). 주요 간섭은 BaOH⁺ 이온에서 발생하지만, 반응 가스 분석법(O₂ 셀 가스 또는 NH₃ 셀 가스)을 사용해 BaOH⁺ 중첩에서 BaF⁺ 이온을 분리할 수 있습니다. MS/MS(ICP-QQQ의 Q1 및 Q2 모두가 질량 필터로 사용됨) 사용은 BaF⁺ 생성 이온에서 새로운 중첩을 일으킬 수 있는 다른 이온이 제거됨을 의미합니다.

ICP-MS 및 ICP-QQQ에 적합한 응용

다른 원자 분광 기법(AAS 및 ICP-OES)과 비교했을 때 ICP-MS 및 ICP-QQQ는 (ICP-OES과 같은) 빠른 다원소 분석 및 (GFAAS와 같은) 낮은 검출 한계라는 고유한 조합을 제공합니다. 실험실에서 100ppb 미만의 농도로 존재하는 10개 이상의 원소를 측정해야 하고 하루에 측정하는 시료가 50개 이상인 경우, 다른 원자 분광 기법보다 ICP-MS가 더 적절한 옵션입니다. ICP-MS는 극미량 수준뿐만 아니라 높은 농도도 측정할 수 있지만, 높은 농도만 필요하고 원소의 수 및 시료의 수는 적은 경우 Flame AAS 또는 MP-AES와 같은 단일 원소 기법이 더 비용 효율적일 수 있습니다.

금속 분석에서 ICP-MS의 장점

ICP-MS는 다음을 제공합니다.

- 3분 시료 판독으로 거의 모든 원소를 빠르게 측정(개별 샘플링 스위칭 밸브를 사용하는 경우 시료당 1분)
- 대부분의 원소에 대해 높은 감도와 낮은 검출 한계(최저 ng/L(ppt) 또는 sub-ppt 수준) 원소 동위원소 비율 또한 측정할 수 있음
- 동일한 측정에서 (0.1ppt 이하부터 1,000ppm 이상의 농도까지) 극미량 및 주요 원소를 측정할 수 있는 기능
- 거의 모든 스펙트럼 간섭을 방지 또는 극복할 수 있는 기능
- 유기 용매 및 용존 고형물 수준이 최대 25%인 용액을 포함하여 광범위한 시료 유형을 측정할 수 있는 능력
- 크로마토그래피 분리를 위한 액체 또는 가스 크로마토그래피 또는 직접 고체 샘플링을 위한 Laser Ablation(LA)과 같은 다른 기법과 연결
- 자동 시료 주입기를 이용한 무인 분석

SQ ICP-MS 응용

ICP-MS는 다음과 같은 실험실에 이상적입니다.

- 일반적, 일상적 또는 규제 대상 ICP-MS 분석법 실행, 주로 환경, 식품 또는 의약품과 같은 일반적인 시료 유형 분석에 해당하는 경우
- 필수 검출 한계 및 잠재적인 간섭이 특별히 까다롭지 않은 고급 응용(중 분리, 나노입자, laser ablation 등)의 경우
- Si, P, S, Cl, 또는 F와 같은 "까다로운" 원소의 저농도 분석을 포함하지 않는 일반적인 극미량 원소를 측정하는 경우
- 원소를 가장 낮은 - 극미량 수준(ppt 미만)에서 측정할 필요가 없는 경우
- 동중원소 중첩, 피크 테일링 중첩과 같이 문제가 되는 스펙트럼 간섭 및 헬륨 충돌 모드를 사용해서는 해결할 수 없는 간섭을 해결할 필요가 없는 경우

QQQ ICP-MS 응용

ICP-QQQ는 다음과 같은 실험실에 이상적입니다.

- 강한 간섭 또는 극복하기 어려운 간섭을 해결해야 하는 고 매트릭스의 복합 혼합물과 같은 까다로운 응용을 실행하는 경우
- 고순도 소재 또는 반도체 공정 화학 물질에서 원소의 극미량 수준(single-ppt 또는 sub-ppt)을 측정하는 경우
- Si, P, S, Cl, F처럼 까다로운 원소의 극미량 수준 분석이 필요한 경우
- $^{204}\text{Pb}/^{204}\text{Hg}$, $^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Rb}$, $^{176}\text{Hf}/^{176}\text{Lu}$ 와 같은 직접 동중원소 중첩 또는 방사성 동위원소 중첩을 해결해야 하는 경우(일부 지구 화학 또는 핵 응용 분야에서 필요한 경우가 있음)
- 탄소 매트릭스의 B, 강철의 Mn, 우라늄의 Np처럼 주요 원소 옆에 있는 질량에서 저농도의 원소를 측정해야 하는 경우
- 현재 또는 미래에 가장 광범위한 범위의 시료 유형 및 원소를 분석해야 하는 연구 또는 계측 응용을 실행하는 경우

병행 비교: ICP-MS vs ICP-QQQ

다음 표는 Agilent ICP-MS 및 ICP-QQQ 기기를 서로 비교한 내용을 보여줍니다.

| | ICP-MS | ICP-QQQ |
|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 가격 비교 | | |
| 시료당 비용 비교 | | |
| 감도 비교 | | |
| 검토 | SelectScience | SelectScience |
| 최대 시료 수/일 | 400(1200) ¹ (50개 원소) | 400(1200) ¹ (50개 원소) |
| 측정 동적 범위 | <1ppt~1000ppm | <1ppt~1000ppm |
| 필요한 시료량 비교 | | |
| 시료 내 고형물 내성 비교 | | |
| 원소 측정 | 동시 측정 | 동시 측정 |
| 측정할 수 있는 원소는 몇 개입니까? | 86 | 87(F 포함) |
| 일상적인 유지보수 요구 사항 비교 | | |
| 작업자 기술 필요성 정도 비교 | | |
| 무인 분석 가능 | 예 | 예 |
| Part 11/Annex 11 GMP 규제 준수 | 예 (옵션 소프트웨어 사용 시) | 예 (옵션 소프트웨어 사용 시) |

| | ICP-MS | ICP-QQQ |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| 작동 전력 사용 비교 | | |
| 크기 (mm- 폭 x 깊이 x 높이) | 730 x 600 x 595 | 1060 x 600 x 595 |
| 무게 | 100kg | 139kg |
| 가스 요구사항 | 99.99% 아르곤 | 99.99% 아르곤 ⁴ |
| 보증 기간 ³ | 12개월 | 12개월 |
| 액세서리 | | |
| 자동 시료 주입기 | 옵션 | 옵션 |
| 수냉 시스템 | 필요, 불포함 | 필요, 불포함 |

1. 더 높은 시료 수는 스윙칭 밸브가 장착된 기기의 처리량을 나타냅니다.
2. 단순화된 인터페이스(ICP Go)와 기존 설정 분석법을 일상적인 분석에 사용할 수 있으므로 작업자의 기술 수준이 높지 않아도 됩니다.
3. 애질런트는 다양한 연장 보증 및 지원 옵션을 제공합니다.
4. 극미량 오염을 제어해야 하는 응용 분야(예: 반도체 화학물질의 불순물 측정)의 경우 최소 99.999%의 아르곤 순도가 필요할 수 있습니다.

응용 사례

먹는물 시료의 다원소 분석

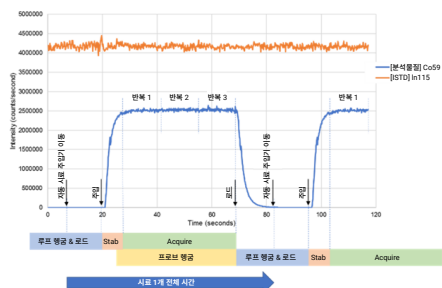
일상적인 먹는물 분석은 다양한 원자 분광 기법을 사용해 수행할 수 있지만, 모든 주요 원소 및 극미량 원소(As, Cd, Hg, Pb 포함)를 분석할 수 있고 시료 처리량도 높은 기법은 ICP-MS뿐입니다.

이 응용 시나리오에는 일반적으로 다음이 포함됩니다.

- 하루 당 약 100개의 시료에 대한 일상적인 모니터링(먹는물 분석을 더 많이 수행해야 하는 실험실에서는 시료 수를 늘릴 수 있음)
- 각 시료에서 최대 35종 원소 분석
- 농도 수준이 광물(ppm)에서 극미량(0.1ppb)으로 다양함
- 먹는물 실험실은 보통 생산성 요구사항이 매우 높음

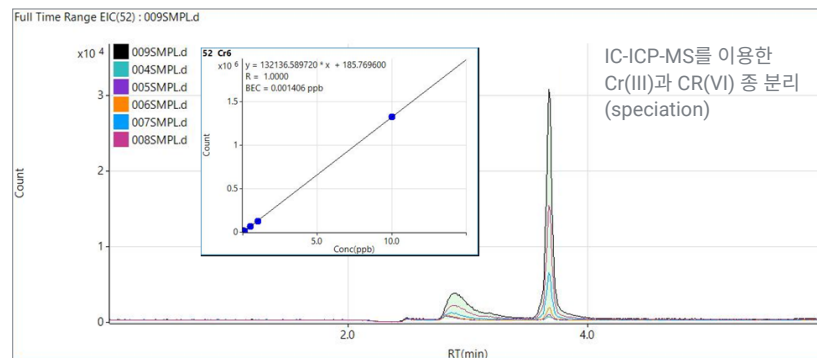
ICP-MS를 사용해야 하는 이유

ICP-MS를 사용하면 일상적으로 많은 수의 먹는물 시료를 분석할 수 있습니다. 스위칭 밸브를 장착하는 경우 하루에 최대 1,200개의 시료를 처리할 수 있습니다.



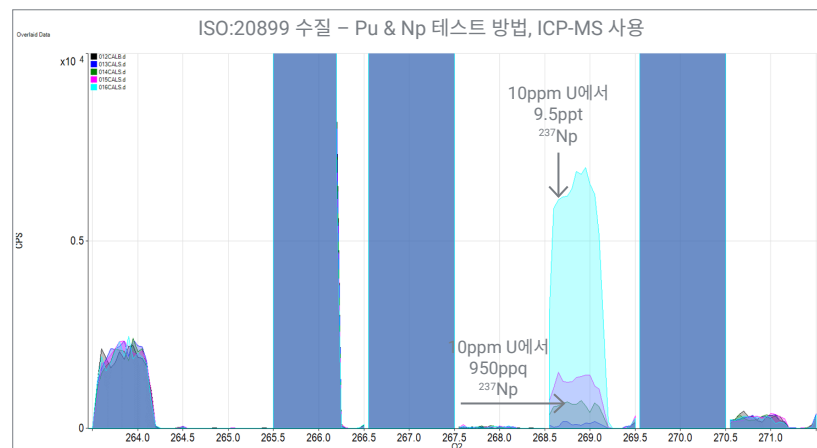
스위칭 밸브 사용 시
다원소 분석 1분 미만

ICP-MS는 규제를 받는 모든 주요 및 극미량 원소를 측정할 수 있습니다. ICP-MS를 사용하지 않으면 여러 기법(주요 원소의 경우 ICP-OES, GFAAS, 수산화물 생성법, 극미량 원소의 경우 원자 형광)이 필요합니다. ICP-MS는 향후 규제 대상이 될 수 있는 낮은 농도의 신종 오염물질을 측정할 수 있기 때문에 미래에도 사용할 수 있습니다. 그리고 ICP-MS는 종 분리(speciation) 분석을 수행하고(예: 무기 비소, 6가 크롬, 메틸 수은 정량), 점차 규제 기관의 많은 관심을 받고 있는 나노입자를 검출할 수 있습니다.



ICP-QQQ의 장점

- 대부분의 일상적인 수질 모니터링 실험실에서는 ICP-QQQ의 추가 비용을 정당화할 수 없음 그러나 연안수 및 개방 해수 또는 고염분 지하수와 같은 까다로운 물 시료를 측정해야 하는 실험실에는 ICP-QQQ가 제공하는 낮은 검출 한계 및 더 나은 간섭 제어에 따른 이점을 누릴 수 있음
- ICP-QQQ에는 예를 들어, ISO 20899:2018에 명시된 것처럼, Pu 및 Np와 같은 신종 오염물질을 측정할 수 있는 기능이 있음 이러한 극미량 오염물질은 SQ ICP-MS를 사용해 정확하게 측정하기에 농도가 너무 낮음
- ICP-QQQ는 가장 작은 나노입자를 측정하는 데 중요한 요소인 높은 감도와 낮은 백그라운드를 제공함



식품 시료의 다원소 분석

식품 분석은 일반 영양소 함량 인증부터 독성 극미량 원소 및 잔류 농약 정량을 통한 식품 안전 확인까지 형태가 다양합니다. 식품 생산업체 및 규제 담당자는 식품 원산지 확인을 위해 극미량 원소 핑거프린팅도 사용합니다.

일반 식품 분석 응용 시나리오에는 일반적으로 다음이 포함됩니다.

- 실험실에서 매일 10 ~ 100개의 시료를 분석함
- 네 가지 영양분 원소와 식품 유형에 따라 달라지는 다양한 극미량 원소를 분석함
- 검출 및 정량 한계는 한자리 수 ppb ~ 1,000s ppm 수준임

ICP-MS를 사용해야 하는 이유

ICP-MS에는 매우 넓은 농도 범위에서 모든 필수 원소를 측정할 수 있는 고유한 기능이 있기 때문에 한 번의 고속 분석에서 주요 및 극미량 영양소와 독성 중금속을 측정할 수 있습니다.

| Element | Instant Non-Fat Dry Powdered Milk | Buttermilk Powder Milk | Whole Powdered Goat Milk | Sweet Cream Buttermilk Powder | Non-Fat Dry Milk Powder | Whole Milk | Fat Free Milk |
|---------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------|---------------|
| 11 B | 3053 | 2931 | 2337 | 2490 | 2182 | 443.5 | 406.4 |
| 23 Na | 3919 | 3870 | 2804 | 4335 | 3871 | 371 | 378 |
| 24 Mg | 1152 | 1017 | 1094 | 931 | 1091 | 106 | 107 |
| 31 P | 10215 | 90965 | 8221 | 8161 | 9845 | 965 | 985 |
| 39 K | 15827 | 30554 | 15912 | 14590 | 17195 | 1519 | 1560 |
| 44 Ca | 11762 | 9963 | 8486 | 7950 | 11077 | 1104 | 1123 |
| 47 Ti | 442.5 | 221.2 | 201.3 | 256.3 | 253.2 | <DL | <DL |
| 51 V | 24.40 | 25.55 | 27.95 | 28.97 | 15.29 | 9.51 | 9.70 |
| 52 Cr | <DL | <DL | <DL | 712.26 | <DL | <DL | <DL |
| 55 Mn | 170.1 | 220.3 | 292.9 | 193.7 | 219.2 | 20.20 | 19.86 |
| 56 Fe | 1836 | 8468 | 2401 | 9760 | 1935 | 285.0 | 306.7 |
| 59 Co | 5.90 | 5.75 | <DL | 8.45 | <DL | <DL | <DL |
| 63 Cu | 308.1 | 609.5 | 899.6 | 485.8 | 391.7 | 35.94 | 66.12 |
| 66 Zn | 41 | 30 | 27 | 28 | 41 | 4.0 | 4.0 |
| 75 As | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL |
| 78 Se | 365.8 | 349.8 | 188.0 | 418.3 | 526.4 | 31.15 | 28.91 |
| 95 Mo | 319.67 | 1946 | 104.73 | 2440 | 299.1 | 39.92 | 34.33 |
| 111 Cd | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL |
| 118 Sn | 3.98 | 18.23 | 12.56 | 5.59 | 12.36 | <DL | 2.89 |
| 121 Sb | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL |
| 137 Ba | 862.0 | 970.9 | 523.7 | 498.7 | 694.9 | 77.87 | 85.69 |
| 202 Hg | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL | <DL |
| 205 Tl | 3.49 | 2.34 | 4.87 | 2.46 | 2.57 | 0.58 | 0.49 |
| 208 Pb | 2.39 | 3.39 | 3.85 | 3.03 | 1.96 | 0.61 | 1.27 |

농도(ppb), Na, Mg, P, K, Ca, Zn(ppm) 제외

ICP-MS는 다음 4개 주요 영양소 원소 측정 가능: **Na, Mg, K, Ca**

ICP-MS는 다음 기타 (극미량) 원소 측정 가능: **P, Fe, Cu, Zn, Se 등**

ICP-MS는 다음 독성 오염물질 모니터링 가능: **Cr, As, Cd, Hg, Pb**

또한 ICP-MS 분석법은 거의 모든 원소로 확대할 수 있습니다.

ICP-QQQ의 장점

- 일반 물 분석과 마찬가지로 ICP-QQQ의 이점은 낮은 검출 한계와 복잡하고 다양한 시료에서 보다 신뢰할 수 있는 극미량 원소 분석을 제공할 수 있는 기능에 있음
- 식품 시료는 일부 오염물질의 유해한 영향에 대한 이해 확대를 반영하기 위해 계속해서 변경되는 규제의 적용을 받음 ICP-QQQ는 FDA 개입 준위가 15.8ppq인 아메리슘과 같은 신종 오염물질에 대한 검출 한계가 낮음 또한 ICP-QQQ는 수산물의 메틸 수은과 같이 잠재적으로 유해한 유기 금속 종의 저농도 분석을 지원함
- 분석가는 ICP-QQQ를 사용해 티타늄(E 171 TiO₂ 식품 첨가물)과 같은 원소를 기반으로 나노입자에 대해 더 작은 입자 크기 및 더 낮은 농도를 검출하고 정량할 수 있음

광물 탐사 시료의 다원소 분석

광물 탐사를 지원하는 실험실에서는 조사를 통해 수집한 많은 수의 시료를 신속하게 특성 규명하고 시추 코어를 테스트해야 합니다. 넓은 원소 범위와 높은 생산성이 매우 중요합니다.

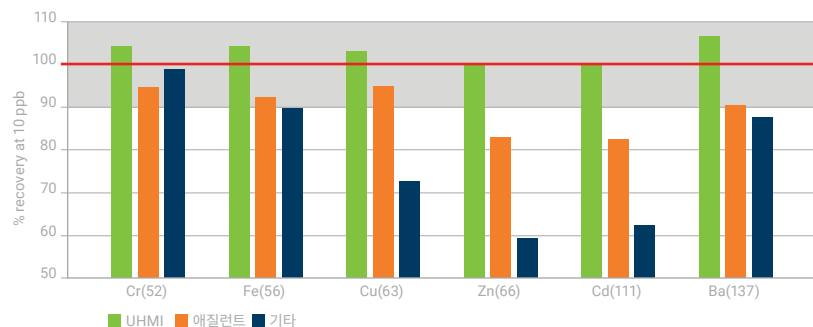
이 응용 시나리오에는 일반적으로 다음이 포함됩니다.

- 탐사 실험실에서는 수천 개의 시료를 매일 측정해야 할 수 있음
- 각 시료에서 "모든"(50+) 원소를 측정해야 할 가능성이 높음
- 농도를 알 수 없고 매우 가변적이지만, 농도 수준이 주요(%) ~ ppb로 다양함

ICP-MS를 사용해야 하는 이유

ICP-MS는 30% 왕수(3:1 HCl:HNO₃)로 전처리한 많은 수의 고 매트릭스 광석 및 광물 시료를 일상적으로 분석할 수 있습니다. 기존의 표준 ICP-OES 시료 전처리를 사용할 수 있습니다. ICP-MS에서 시료를 분석하기 위해 새로운 분해법을 개발하거나 높은 희석을 사용할 필요가 없습니다.

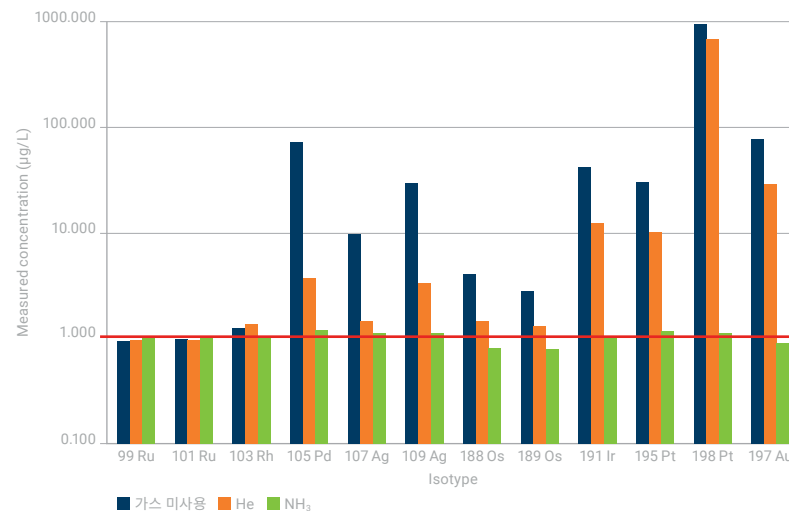
- 실험실에서는 Ultra High Matrix Introduction(UHMI) 에어로졸 희석 시스템을 사용해 오프라인 또는 온라인 액체 희석 없이 고 매트릭스 시료를 직접 분석할 수 있음
- ICP-MS는 더 낮은 농도를 정량화하고 더 많은 분석물질을 보고하기 때문에 높은 부가가치를 제공함
- 매우 강력한 UHMI 조건으로 다양한 고 매트릭스 시료에서 일관되고 정확한 회수율을 보장하기 때문에 검량 및 QC가 간소화됨
- ICP-MS의 측정 범위가 넓기 때문에 Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Ti 등과 같은 주요 원소를 극미량 원소, REE, PGE, TCE 등과 동일한 분석에서 측정할 수 있음
- 충돌/반응 셀에서 헬륨을 사용하면 일반적인 매트릭스 간섭이 해결되기 때문에 일반적인 분석물질에 대해 정확한 결과를 제공함



고염기 매트릭스(어두운 부분은 ± 10% 범위)에서의 스파이크 회수율, SQ ICP-MS 사용. UHMI 에어로졸 희석은 고 매트릭스 농도에서 일관된 결과를 제공합니다.

ICP-QQQ의 장점

- ICP-QQQ를 사용하면 검출 한계가 낮아지고 오류가 감소함
- 매트릭스 중첩 시 SQ ICP-MS에서 오류가 발생할 수 있고, 이로 인해 귀금속과 같은 저농도 원소에 대한 보고가 정확하지 않을 수 있음
- ICP-QQQ에서 반응 셀 가스 분석법을 사용하면 중요 분석물질에서 스펙트럼 중첩을 해결해 데이터 품질을 개선할 수 있음



1µg/L 스파이크 백금족 원소의 정확한 회수율, ICP-QQQ의 반응 셀에서 NH₃ 사용(녹색). ICP-MS/MS 분석법은 가스를 사용하지 않거나(파란색) 헬륨 충돌 가스를 사용해(주황색) SQ ICP-MS에서 오류를 발생시키는 매트릭스 간섭물질을 제거합니다. 시료 매트릭스에는 Sc, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Mo, Zr, Nb, Ta, Hf, W 및 각각 10ppm의 희토류 원소와 1ppm의 Hg가 함유되었습니다. (3)

3. Demar D., Jean-Soro L., Desprez, A., Analysis of Platinum Group Elements (PGEs), Silver, and Gold in Roadside Dust using Triple Quadrupole ICP-MS, Agilent publication, 2022, [5991-6768EN](#).

고순도 화학물질의 극미량 및 초극미량 오염물질 분석

반도체 웨이퍼 제조 또는 기타 전자 장치 제조 공정에 사용되는 고순도 화학물질은 금속 불순물 농도가 매우 낮아야 합니다.

이 응용 시나리오에는 일반적으로 다음이 포함됩니다.

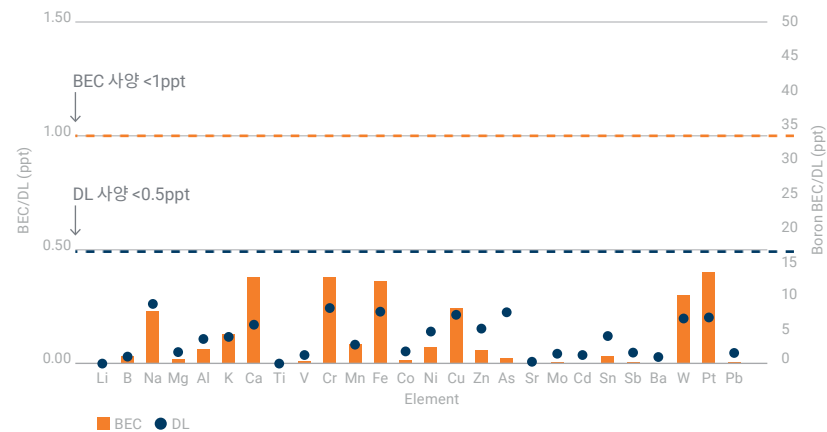
- 하루 당 측정해야 하는 시료 수가 다양하지만, 최대 50개까지 가능
- 일반적으로 약 20종의 원소 측정, 고순도 시료 유형이 다양함
- 일반적으로 농도는 한자리 수 ppb이지만, 한자리 수 ppt 또는 ppt미만까지 내려갈 수 있음

이러한 산업에는 ICP-MS의 검출 한계가 낮아야 하지만, SQ ICP-MS는 일부 응용에서 요구하는 ppt 이하 수준을 충족할 수 없습니다.

ICP-QQQ를 사용해야 하는 이유

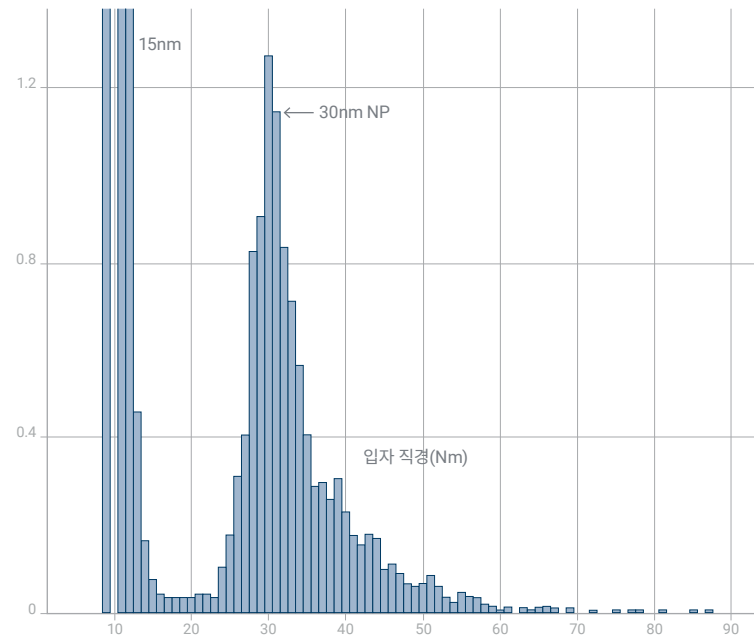
MS/MS 모드 및 반응 셀 가스 분석법을 사용하는 ICP-QQQ는 스펙트럼 중첩을 해결하고, SQ ICP-MS보다 더 낮은 검출 한계와 더 나은 정확성을 제공할 수 있습니다.

예를 들어, 전자 장치 제조에 사용되는 초순수는 1ppt 미만의 오염물질 사양 (붕소의 경우 <50ppt)인 경우가 많고 검출 한계는 0.5ppt 미만(붕소의 경우 <15ppt)이어야 합니다. ICP-QQQ는 이러한 요구사항을 쉽게 충족할 수 있습니다.

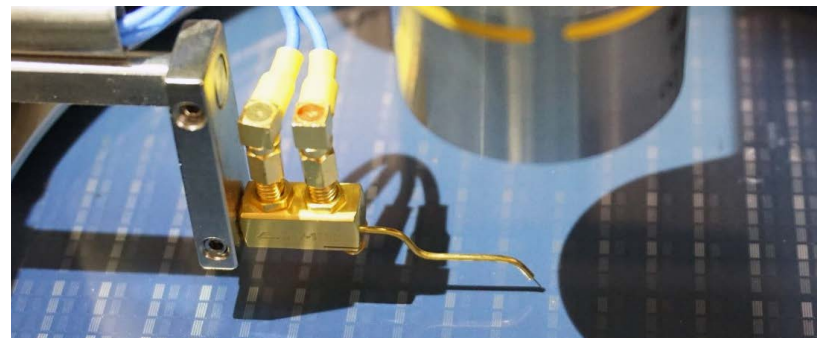


ICP-QQQ를 사용해 측정된 백그라운드 등가 농도(BEC)는 전자 장치 제조 초순수 사양 <1ppt보다 훨씬 낮습니다. ICP-QQQ의 검출 한계도 명시된 <0.5ppt보다 훨씬 낮습니다.

- ICP-QQQ는 H₂SO₄에서 Ti 및 Zn, HCl에서 V, 유기 용매에서 Cr과 같은 간섭 원소에 대한 데이터 품질을 개선함
- ICP-QQQ는 SQ ICP-MS로는 측정이 어려운 SiO₂, Fe₃O₄를 포함해 나노입자를 측정할 수 있음
- ICP-QQQ는 SQ ICP-MS보다 감도는 더 높고 백그라운드는 더 낮아 특정 오염물질 분석을 개선함



고순도 부틸 아세테이트 내 철 나노입자의 다양한 크기 분포, ICP-QQQ를 사용해 측정.



ICP-QQQ의 MS/MS 모드를 사용해 반도체 제조 화학물질, 용매, CMP 슬러리 등에서 SQ ICP-MS보다 더 작은 나노입자를 측정합니다.

추가 정보:

www.agilent.com/chem/atomic

온라인 구매:

www.agilent.com/chem/store

Agilent Community에서 기술적 질문에
대한 해답을 얻고 리소스에 액세스하세요.

community.agilent.com

미국 및 캐나다

1-800-227-9770

agilent_inquiries@agilent.com

유럽

info_agilent@agilent.com

아시아 태평양

inquiry_lsca@agilent.com

DE60328579

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2022
2022년 5월 4일, 한국에서 발행
5994-4830KO

한국에질런트테크놀로지스㈜
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,
A+ 에셋타워 9층, 06621
전화: 82-80-004-5090 (고객지원센터)
팩스: 82-2-3452-2451
이메일: korea-inquiry_lsca@agilent.com

