

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁵
G01J 1/00
H01J 49/48

(45) 공고일자 1991년06월 17일
(11) 공고번호 특1991-0003925

(21) 출원번호	특1987-0004966	(65) 공개번호	특1987-0011460
(22) 출원일자	1987년05월 19일	(43) 공개일자	1987년 12월23일
(30) 우선권주장	8612099 1986년05월 19일 영국(GB)		
(71) 출원인	브이제 인스트루먼트 그룹 리미티드 스텐레이 프레드릭 노르톤 영국 웨스트 세섹스 알에이치 10 6 에이 이크라우레이 브링톤 로오드 29.		

(72) 발명자 아이안 로버트 미카엘 와르델
영국 이스트 서섹스 티엔 21 8에스 에이 히트파일드 브로드 오우크 스트리트 엔드 라인 요우크리코 레이저
페터 알란 콕슨
영국 이스트 세섹스 벅스티드 마르가레트 처어치 로오드 3 에스 티
(74) 대리인 황의만

심사관 : **연길용 (책자공보 제2329호)**

(54) 전자 스펙트로 미터

요약

내용 없음.

대표도

도1

명세서

[발명의 명칭]

전자 스펙트로 미터

[도면의 간단한 설명]

제 1 도는 여러가지 렌지요소와 영상의 위치를 표시하는 본 발명의 스펙트로미터 실시예의 개략도.

제 2 도는 아래에서 언급할 몇가지 지표를 도시하며, 본 발명의 스펙트로 미터에 사용하기에 적합한 전자에너지 분석기의 객체 평면 및 영상 평면을 표시하는 다이어그램.

제 3 도는 본 발명에 사용하기에 적합한 이동 렌즈시스템 및 제 1정전 렌즈 시스템의 개략도.

제 4 도는 본 발명에 의한 스펙트로미터의 주요 부속품을 도시하는 부분 단면도.

제 5 도는 제 3 도에 도시한 이진용렌즈시스템 및 제 1정전렌즈 시스템의 실시예를 도시하는 개략도.

제 6 도는 본 발명에 사용하기에 적합한 출력렌즈 및 검출기의 개략도.

[발명의 상세한 설명]

본 발명의 X선, 자외선 또는 전자선과 같은 일차 방사선을 표본에 포격시킬때 표본의 표면에서 튀어나오는 전자를 분석할 수 있게되어 있는, 환상(Toridal) 커패시터형 에너지 분석기를 구비한 전자에너지 스펙트로 미터에 관한 것이다.

이러한 스펙트로미터들은 표본의 표면을 탐색하기 위하여 사용되는데, 왜냐하면, 방출된 전자의 에너지는 포격된 표면의 화학적 성질에 따라 다르기 때문이다.

따라서, 표면에 존재하는 특정 화학물류의 분포에 관한 정보를 얻는데 본 장치는 매우 유용하다.

다만 특정, 에너지를 가진 전자들을 이용하여 표면의 상태를 나타내는 데에는 여러가지 방법이 있다.

이 방법중, 저널 오브 마이크로 스코피(Journal of microscopy)(1984. 136권 (2), 259-277 페이지)에서 디, 더블유. 터니즈니어, 아이.알. 플러머 및 에체.규.포러가 공동으로 설명한 투영 방법이 있는데, 이 방법에 있어서, 이차 전자는 강력한 발산(divegent) 자기장에 의해 결정되 궤적을 따라

이동 한다. 이 전자들은 억제 위치 에너지 분석기를 통과하여 일정 수준의 에너지를 가진 전자만으로 구성된 표면 영역을 만들어 낼 수 있는 것이다. 이러한 형의 기구는 어떠한 정전 렌즈를 전혀 수반하지 않으며, 다만 매우 크고 값비싼 자석을 필요로 한다. 이 기구는 본 발명과 관련된 표면 분석에 사용되는 스펙트로미터는 종래의 스펙트로 미터와 전혀 다른 것이다.

다른 한가지 방법으로서, 제 3차 고체 표면에 관한 국제 회의에서 씨.티.호블랜드가 발표한 것을 보면 (비엔나, 1977, 2363 페이지), 표본위에 좁은 일차 방사선을 주사시키고, 종래의 스펙트로미터, 예를 들면, 원통형 반사경 분석기로서 이차 전자를 분석하여, 점점(点点)히 표면 영상을 재현해 내는 것이었다.

알루미늄 기재 위에 얇은 층을 파막시킨 표본에 대하여 언급하였다. 에너지 함량이 높은 전자선은 투사되어 알루미늄 기재의 표면을 뚫고 들어가, 이 전자선의 알루미늄과 충돌하는 지점에서 X-선이 방사되며, 이 X-선은 기층을 통과하여 나와 표본의 좁은 일부분에 투사된다.

이 기법은 표본을 알루미늄 기체위에 파막시킬 수 있는 경우에 한하여 사용할 수 밖에 없는 제한성을 가지며, 보통 X-선 광전자 스펙트로미(XPS)로서 탐사하게 되는 대부분의 표본에 대해서는 소용이 없다.

에너지 피터를 구비한 전자현미경은 이 분야에 공지되어 있으며, 그 중 몇가지는 일본 물리학회지(1962, 제 17권, 568페이지)에서 에취, 와다나베에 의하여 설명되었으며, 또한 과학기구지(1966, 제 45권 712페이지)에서 에스.엘.쿤디등에 의하여 설명되었으며, 또한 영국 응용 물리학회지(1969, 제 2권 1757페이지)에서 디.비.위트리가 설명하였으며, 과학기구 편람 (1971, 제 42권(1), 411페이지)에서 에이.브이.쿠루등이 설명하였으며, 제 9차 전자현미경 국제회의(토록도, 1978 제 1권, 40페이지)에서 안드류 등이 설명하였으며, 또한 물리학회지(1975, 제 8권, 1033페이지)에서 에거턴 등이 설명하였다.

일견 겉으로 보이는 것은, 광전자를 방출하는 표면의 에너지 여과영상은 필터를 구비한 전자현미경에 의해 산출될 수 있을 것 같으나, 그렇지 않다.

전술한 모든 기구들은 에너지 함량이 높은 전자선으로 가동시키며, 필터는 예를 들면 표본을 통과할 때 에너지를 사상실한 에너지 분석용 전자에 대해 사용하거나 또는 여과작업의 목적으로 사용하며, 이에따라 좁은 대역(帶域)내에 드는 에너지 범위의 전자만이 사용되어 영상을 형성하며, 이에의해 현미경의 색채적 결함을 감소시킨다.

대표적인 경우 자장 에너지 필터를 사용하는데, 즉 "현미경"(1964, 제 3권(2) 133페이지)에서 카스타임과 헨리가 설명한 것이 그것이며, 정전 렌즈필터도 사용하는데, z.Angew.물리학(1951, 제 3권(5), 187페이지)에서 뮐린스테트와 랑이 설명한 것이 그것이다.

그러나 이들은 모두 낮은 에너지 함량이 이차전자, 광전자, 또는 오저(Auger)전자 등을 분석하기 위해 종래에 사용한 환상 또는 구면 섹터(sector)커패시터에 의한 정전 분석기를 사용하지 않는다. 따라서 "초현미경"(1984, 제 12권 321페이지)에서 코콥스가 설명한 바와같이, 상기 기구들은 낮은 에너지 함량의 전자를 방출하는 표면을 영상화 하기에는 사실상 적합치 않다. 코콥스는 표본을 얇은 알루미늄포일(foil)에 피막시켜, 전술한 에너지 여과후 영상을 형성시키기 위하여 카스타임과 헨리가 설명한 형의 에너지 필터를 부착한 전자현미경의 렌즈 시스템내로 방출전자를 통과 시켰다. 그러나 코콥스가 발견한 것은 그 결과가 만족스럽지 못하다는 것이며, 얻은 영상은 사실상 광전자 영상이 아니라, 이차 전자의 영상이었다. 그가 또한 보여준 것은 광전자를 사용할 때 시스템의 예상공간적 분할은 낮은 것이며, 예상 감응도는 너무 낮아서, XPS에 의해 산출되 소수의 광전자로서 충분한 대조성을 가진 영상을 산출하기에는 매우 어려웠다는 것이다.

따라서 일반적으로, 에너지 여과식 현미경을 위해 폭넓게 개발된 기술은 낮은 에너지 함량의 전자스펙트로미터에는 적용되지 않으며, 특히 전자현미경에 대해 이러한 방식으로 사용된적이 없는 환상 또는 구형의 섹터 커패시터 분석기에 적용되지 않는다.

다음 사실은 표면 분석 분야에 있어서 잘 학립된 사실이다. 즉 환상 커패시터에 입각한 전자에너지 분석기는 낮은 에너지 함량의 광전자 또는 오저 전자를 분석하는데 가장 적합한 것이다. 여기서 "환상 커패시터"는 두개의 적극들은 환상의 일부위가 되며, 이 전극들에 있어서, 동일 전압 표면은 사실상 전극에 가장 가까운 환상 표면부위이다. 통상의 경우, 적극들은 구형체 표면의 일 부위로 구성되며(환상표면의 가능한 범위중 하나), 섹터(sector)의 각은 대개의 경우 180° 이나, 90° 또는 270° 가 채택되는 경우도 있다.

올바르게 설계된 이러한 형의 분석기는 한쌍의 공역(供役) 평면을 구비하는데, 이 평면은 다음과 같은 특성을 가지고 있다. 즉 한 평면의 표면에서 방출하는 단일 에너지 전자들은 그 다른 평면에서 그 표면의 2차원적 영상을 산출한다는 것이다. 이 분석기의 에너지 분산 형상으로 인하여, 영상 평면 내에서 스펙트로미터의 에너지 분산축을 따라 이 영상이 분산되게 되어서, 최소한 이 축을 따라서는 영상의 공간적 특성이 에너지 스펙트럼으로 부터 분별되지 않는다.

"표면 및 인터페이스 분석"(1983, 제 5권(1), 13페이지)에서 굴커 에취, 에벨 및 엠. 에프. 에벨은 다음과 같이 제안한다. 즉 영상 표면내의 에너지 분산축에 대하여 대상체의 영상이 수직으로 위치하게끔 하여 표면의 좁은 대상체만을 영상화 시킴으로써 상기 사실을 극복할 수 있다는 것이다. 대상체가 좁기 때문에 스펙트로미터의 에너지 분산축을 따라 공간적 여백이 거의 없으며, 에너지 스펙트럼은 영상과는 독립적이다.

표본을 기계적으로 탐색함으로써 완전한 2차원적 영상을 산출시킬 수 있으며, 이에 따라 여러개의 선형(linear) 대상체를 스펙트로미터에 의해 순차적으로 영상화 시킬 수 있다. 분석기의 영상 평면에 위치하는 2차원 적 검출기를 사용하여 슬릿 slit)에 대해 상대적으로 표본의 각 위치에서 에너지 스펙트럼을 기록할 수 있다.

이 정보는 컴퓨터로 처리하여, 탐색된 표면 부위의 완전한 2차원적 영상과 표면의 각 위치에 해당하는 에너지스펙트럼을 산출시킬 수 있다.

이 방법의 주된 단점은 스펙트로미터의 객체평면 내에서 좁은 슬리트를 사용해야 한다는 요건이며, 이로 인해 대부분의 방출된 광전자가 검출기에 도달하지 못한다는 사실이다.

이결과, 이 방법이 감응도는 낮으며, 처음에 방출된 전자의수가 비교적 적다는 점을 고려할 때, 이 문제는 전술한 방법의 경우와 같이, 심각한 문제로 되는 것이다. 물론 더넓은 입구 슬리트를 사용하여, 감응도를 증가시킬 수 있으나, 그러나 이것은 분명히 에너지 스펙트럼의 해상도를 감소시키며, 하나의 축을 따라 공간적 해상도를 감소시킨다.

그러므로 본 발명의 목적은 환상 커패시터형 분석기를 구비한 전자에너지 스펙트로미터를 제공하려는 것이며, 이 기구는 좁은 부위의 표면에서 방출된 전자의 에너지 스펙트럼을 산출시킬 수도 있고, 선택된 에너지 수준의 전자를 사용하여 표면 일부를 영상화시킬 수도 있으며, 또한 이 기구는 어떤 특별한 탐색기술을 필요로 하지 않는 것이다.

이러한 분석기는 결과적으로 종래의 영상화 분석기보다 더 효율적이며, 또한 xps로부터 나오는 낮은 에너지 함량의 광전자로서 에너지 여과후 영상을 산출시키는 문제를 극복하게 된다.

한가지 측면에서 보면, 본 발명은 전자방출 표면의 영상을 만들수 있게 가동 가능한 전자 스펙트로미터를 제공하며, 이 스펙트로미터는 다음과 같은 순서로 구성된다.

- a) 상기 표면에서 전자를 방출시키는 수단.
- b) 상기 표면의 최소한 일부분의 전자 영상을 푸리에 트랜스폼으로서의 제 1회절 평면상에 최소한 약간의 상기 전자를 투사시킬 수 있게 배열된 제 1렌즈 시스템, 예를 들면 제 1 렌즈 시스템.
- c) 객체 평면과, 그 공역평면(共役平面)인 제 1영상평면을 구비한 환상 커패시터형 정전 에너지 분석기로서, 이 분석기는 상기 제 1회절 평면과 일치하는 상기 객체평면과 함께 위치하며, 상기 제 1 영상 평면 내에서 에너지 분산 푸리에 트랜스폼으로서의 상기 푸리에 트랜스폼 전자를 투사하게끔 배열됨.
- d) 선정된 범위내의 에너지만을 가지는 상기 분산된에너지 푸리에트랜스폼 전자를 전달하기 위한 에너지 선택장치.
- e) 상기 에너지 선택장치에 의해 전달되는 전자를 수납하도록 배열되어, 이에 의해 상기 최소한 일부분의 표면의 전자 형상을 제 2영상 평면에 투사하게끔 배열된 제 2렌즈 시스템, 예를 들면 제 2정전 렌즈 시스템등으로 구성된다.

제 2영상 평면이 적극밖에 위치하는 정전 에너지 분석기의 경우에, 제 2정전 렌즈시스템(즉 제 2회절 평면을 갖는것)은 제 1영상 평면과 일치하는 제 2회절 평면과 함께 위치하기 때문에 최종 영상은 제 2영상 평면에 만들어진다.

가급적 이동정전 렌즈 시스템은 표면과 제 1정전 시스템 사이에 위치하는 것이 좋으며, 또 표면에서 방출되는 최소한 약간의 전자를 수납하도록 배열하며, 또한 표면의 최소한 일부분의 전자 영상을 산출케 배열하는 것이 좋다. 이러한 시스템이 구비되면, 그것이 산출하는 전자영상은 본 발명의 제 1 정전 렌즈시스템의 목적이 된다.

또한 가급적, 표면과 분석기 사이에는 장치를 구비시켜 다음과 같은 전자만을 에너지 분석기내로 받아 들리게끔 할수 있다. 즉 표면에 대해 어떤 각도를 이루면서 방출되는 전자만을 받아들리게 하는 것이다. 또한 가급적, 표면을 이탈하는 전자를 선별적으로 받아들리게 하는데, 즉 제 1 정전 렌즈 시스템(또는 이동 정전 렌즈 시스템)의 축에 대해 어떤 범위의 각도를 이루는 방향으로 주행하는 전자만을 에너지 분석기내로 받아 들이는 것이다.

또다른 선호된 실시예에 있어서, 정전에너지 분석기를 구성하는 전극들은 구형체의 일부가 되기 때문에, 분석기는 부분적으로 구형의 정전 분석기가 되며, 예를들면, 낮은 진행 에너지로 가동되는 전자스펙트로미터에 사용되는 종래의 장치인 것이다. 그러나 비구형 환상 정전 분석기도 사용될 수 있다.

가급적, 제 1전자 검출장치는 제 2영상 평면에 또는 그에 인접 위치시켜, 전자 영상을 가시적으로 표현하거나 또는 저기식으로 기록할 수 있게 한다. 이러한 수단은 종래식이며, 예를들면 인(phosphor)스크린 또는 위치검출기 등이 있으며, 이것에 대하여 설명된 예로는 미국특허 제 4,395,636호 및 "과학기구 편람"(1976, 제 47권(11), 1360 페이지)에서 램프턴과 말리나가 설명한 것이었다. 또한 다른 형태의 위치검출기 또는 인스크린의 전방에 제 2영상 평면에 있는 입구에 최소한 하나의 채널판식 전자 증배기(multiplier)를위치 시키는 것이 좋다. 그러나, 제 2 정전 렌즈 시스템에 의해 산출된 영상을 더이상 수정(또는 감소)시키고 싶은 경우에는, 영상 확대용 정전렌즈 시스템을 제 2정전 시스템과 제 1전자 검출장치 사이에 배치시키면 좋다.

또하나의 다른 실시예에 있어서, 이 장치는 에너지 분석기로 들어가는 전자의 에너지를 조정하는 장치를 구비하고 있다. 이렇게 에너지 분석기의 중앙궤도에 있어서의 위치 에너지와 표면에 있어서의 위치에너지를 상이한 값에 유지하여, 원하는 분할 상태에서 분석기 내에서의 에너지 분석기에 적합한 값으로 만들기 위하여 전자를 가속 시키거나 또는 감속시킬 수 있다. 대표적인 경우, 표본은 대지 전위(ground potential)(0의 수준)에서 유지되고, 분석기의 중심궤적의 전위, 및 제 1 및 제 2정전렌즈 시스템의 최소한 입구 및 출구요소의 전위는 제 2전위에서 유지되며, 이 제 2전위는 필요에 따라 가속 및 감속 정도를 변화시켜 조절할 수 있게 되어 있다.

각 영화 과정에서 영상화될 에너지 대역내에서 방출된 전자가 에너지 분석기의 통과 대역에 맞게끔 가속 또는 감속시키는 것은 특히 바람직한 일이다. 가급적 상기 통과 대역은 최소한 50eV정도로 하

는 것이 좋으며, 편리하게는 50 내지 200eV정도, 특히 편리하게는 100eV 정도로 하는 것이 좋다. 통과 대역 에너지가 높을수록 최종 영상에 있어서 더 양호한 공간적 해상도를 산출시킨다.

다른 선호된 실시예들에 있어서, 이동 정전 렌즈 시스템(만약 있다면) 및 제 2정전 렌즈 시스템을 가변 확대식으로 되어 있어 편리하게 되어 있다.

본 발명은 표본표면의 최소한 일부위의 전자 영상을 제공할 뿐 아니라, 또한 에너지 분석기의 객체 평면을 통과하는 에너지 스펙트럼을 기록 할 수 있는 가능성을 제시한다.

전술한 것과 유사한 전자 검출기를 분석기의 영상평면에 있는 전자 통로에 삽입하여 스펙트럼을 기록하게 할 수 있다.

후술하는 바와 같이 표면의 공간적 특성에 관한 정보는, 에너지가 분산축을 따라 분산되어 있는 동안 평면과 전자투척궤도 사이의 각도가 표시되며, 이 정보는 이 평면내에 존재한다.

그결과, 이 평면에 기록된 스펙트럼은 표본의 공간적 특성으로부터 간접 현상을 거의 받지 않는다. 대표적인 경우, 스펙트럼 검출기는 철화가능한 설치대에 부착시켜, 제 2정전 렌즈시스템을 거쳐 전자로 하여금 표면의 실제 영상을 형성시키기 위해 검출기를 철화할 수 있게한다.

반면에, 하나의 개구를 가진 스펙트럼 검출기를 사용하는 경우는, 스펙트럼 (개구에 속하는 부분은 제외) 및 영상은 동시에 기록될 수 있다.

이 사실은 종래 오저 전자 및 광전자 에너지 스펙트로미터에서는 불가능한 것이었다. 이러한 기구에 있어서, 원하면 공간적 영상검출장치는 생략할 수 있으며, 그리고 이와같이 다른 측면에서 볼 때, 본 발명은 위에서 정의한 바와 같이 (a) 내지 (c)의 요소로 구성되며, 또한 상기 에너지 분산 푸리에 트랜스폼에서 전자를 검출하기 위한 전자 검출장치를 구비한다.

제 1 및 제 2정전 렌즈 시스템은 각각 하나 또는 그 이상의 정전렌즈를 편리하게 구비하며, 대표적인 경우 단순한 종래형의 3요소식원통형 렌즈를 구비한다.

이동 정전렌즈 시스템을 구비시키면, 제 1정전 시스템의 객체평면내에 표본표면의 전자 영상을 형성한다. 대개 이것은 최소한 두개 또는 바람직하게는 3개의 정전 렌즈를 구비하며, 각 렌즈는 종래식 3-요소렌즈이다.

이로 인하여, 영상축상의 위치와는 별도로 이동렌즈 시스템의 확대도를 결정할 수 있게 한다. 이러한 시스템은 최소한 16, 바람직하게는 최소한 25, 특히 바람직하게 최소한 50의 배수로 영상을 확대하는 것을 가능케하며, 특히 16배수 내지 64배수 범위의 기변적 확대 시스템이 선호된다.

또한 본 발명의 제 2정전 렌즈 시스템에 유사한 가변적 확대 시스템을 구비시키면 유익하다. 상기 단순한 3-요소식 렌즈 대신에 다 요소(multi-element)식 렌즈를 2개 또는 3개 사용하는 시스템을 사용할 수도 있다.

가급적 정전 에너지 분석기구는 구형 섹터를 갖도록 하는 것이 좋다. 적당한 섹터의 각도는 대개 90° 내지 270° 로 하는 것이 좋다. 190° 또는 그 이하의 상기 섹터의 각, 예를 들면 150° 내지 190° 부품을 설치하는데 편리하다는 이유로서 선호되나, 특히 좋은 결과를 얻기 위해서는 약 180° 이다.

이러한 분석기의 상기 부분들은 영상 부분들은 영상 및 객체 평면에까지 실제 연장되지 않기 때문에, 입력 및 출력 슬리트를 위한 여지가 남아 있으며, 시 슬리트들은 영상 및 객체 평면에 위치시킬 필요가 있다. 이러한 형의 분석기는 이 기술 분야에 공지되어 있어, 더이상 설명할 필요가 없을 것이다.

또 다른 측면에서 고찰해 보면, 본 발명은 전자 방출표면의 영상을 형성시키는 방법을 제공하며, 그 방법은 다음과 같이 구성된다.

- a) 표면에서 전자가 방출 되게끔 한다.
- b) 상기 표면의 최소한 일부분의 전자영상 푸리에 트랜스폼을 제 1회절 평면상에 산출시키기 위해, 상기 방출된 전자중 최소한 약간을 제 1장, 예를 들면 제 1정전기장 내로 통과시킴.
- c) 상기 제 1회절 평면을 통과하여 이동하는 상기 푸리에 트랜스폼 전자중 최소한 약간을 하나의 객체평면과 하나의 제 1영상평면을 구비한 환상 커패시터형 정전 분석기에 의해 형성시킨 제 2정전기장내로 통과 시키며, 상기 객체 평면은 상기 제 1회절 평면과 일치하며, 이에 의해 상기 제 1영상 평면상에 에너지 분산 푸리에 트랜스폼을 산출시킴.
- d) 선정된 범위내의 에너지 수준을 가진 전자를 선택함.
- e) 예를 들어 제 3정전기장 상기 선택된 전자를 통과시켜, 이 전자들이 집중되게 하여 제 2영상 평면상에 제 2전자 영상을 형성시키며, 이 제 2전자 영상은 상기 선정된 범위의 에너지 수준을 가진 것으로 구성됨.

가급적 표면에서 방출되는 전자들은 제 1정전기장을 거치기 이전에 이동 정전기장을 통과하게 하는 것이 좋다.

이동 정전기장은 전자들을 집중시켜, 제 1정전기장의 대상체 역할을 하는 영상을 산출시키기 위한 것이다.

또한 본 발명의 방법에 있어서는, 전자들이 제 1정전기장에 들어가기전에, 표면에 대해 일정 범위 각도를 유지하는 방향으로 주행하는 전자만을 선택하는 단계를 추가하는 것이 좋다.

또 하나의 선호된 사실에 있어서, 전자들이 제 2정전기장에 들어가기전에 전자들의 에너지를 변경시

키는 단계를 구비하여, 이에의해, 제 2정전기장에 의한 에너지 분산후, 원하는 수준의 에너지 해상도를 얻을 수 있는 범위 내에 전자 에너지가 해당되도록 만든다.

또 다른 선호될 실시예에 있어서, 제 2 정전기장의 동등 에너지 수준을 형성하는 표면은 일부 구형체로 된다.

또한 가급적, 이 표면에서 방출되는 전자 에너지를 일정값으로 변경시키며, 이 값에 의하여, 에너지 분석자는 원하는 에너지 해상도를 달성한다.

이 사실은 오저 전자나 광전자의 분석을 위해 사용되는 스펙트로미터의 종래의 가동 방식이다. 예를 들면 이 문제에 대하여는 "전자 스펙트로스코피 및 관련 현상"(1974, 제 3권 241 내지 261페이지)에서 브라운, 로버트, 라담 및 에이스트 등이 설명한 것을 참조하면 알 수 있다. 또 한가지 흥미할 점은 제 2정전장을 통과하는 전자에너지 스펙트럼은 그 영상 평면내에 존재하며 또한 원하면 그것을 기록할 수도 있다는 것이다. 이 스펙트럼의 특성을 보면, 그 기에는 공간적 정보가 내포된 것이 거의 없다. 또한 제 2 평면상에 형성된 영상의 해상도는 그 구성전자의 에너지 분포폭에 의해 거의 영향을 받지 않는다는 것이다.

이와 같이, 환상 커패시터식 전자에너지 분석기의 공간적 영상화 특성과 에너지 분산을 분리시키는 문제가 극복된다. 한 선호된 실시예에 있어서, 표본을 광자(X-선, 자외선등)로서 포격하여 광전자를 방출시키며, 이렇게 방출된 전자들중 약간은 이동렌즈 시스템으로 수집하여 표면에 관한 영상을 산출시킨다.

종래의 분석기에서와 같이, 주변환경의 전기적 위치 에너지를 수준을 변경시켜, 전자 에너지를 변화시키며, 이때 보통 감속시키는 방향으로 에너지를 변경시켜서, 분석기의 통과에너지는 비교적 낮은 수준에 세트되고, 에너지 해상도를 높일 수 있게된다. 종래의 스펙트로미터에 있어서, 즉 전술한 굴절, 에벨과 에벨이 설명한 기구에 있어서, 이전용 렌즈 시스템은 표면의 영상이 에너지 분석기의 객체 평면에 형성되게 만들며, 따라서 위치검출기가 존재하는 영상평면상에 표본의 에너지 분산 영상이 형성된다. 이와는 대조적으로 본 발명에 있어서는, 제 1렌즈 시스템이, 이동렌즈 시스템의 영상평면과 에너지 분석기의 객체평면 사이에 위치 한다. 제 1렌즈 시스템이 단 하나의 얇은 렌즈로 구성된 가장 단순한 경우에 있어서, 그 배열 방법에 있어서는, 이동렌즈 시스템 영상평면과 분석기의 객체평면에서 제 1렌즈 시스템으로부터 위치한 거리가 제 1렌즈 시스템의 초점거리와 동일하게 한다. 이렇게 하여, 분석기의 객체평면은 제 1렌즈 시스템의 회절평면과 일치하며 후자 내에는 표면영상의 푸리에 트랜스폼이 존재한다. 표본의 표면에 대해 일정한 각을 형성하는 방향으로 표면상의 특징점을 이탈하는 전자들은 제 1렌즈 시스템의 회절평면을 통과하며, 이때 이 전자선은 상기 회절평면에 대해 특정 각도로 기울어진 사실상의 평행 전자선을 형성하며, 한편 표면상의 다른점을 이탈하는 전자들은 또다른 각도로서 상기 평면을 통과한다.

따라서 표면의 공간적 특성으로 인해, 평면내에서의 성의 강도 변화는 거의 없다. 환상 커패시터형 에너지 분석기는 그 영상평면상에 이 회절평면의 영상을 형성하며, 또한 하나의 축(분산축)을 따라 전자의 에너지 분산을 일으킨다. 이렇게 표본상의 상이한 지점에서 방출된 전자들은 상이한 각도를 형성하며 분석기의 영상평면을 통과하나, 그러나 그 에너지 수준에 따라 이 축을 중심으로 하여 변화를 보이며, 그러나 그 상도는 전자가 튀어나온 표본상의 점(표본의 표면이 균일하다고 가정함)과는 대체로 독립적이다. 이에 따라, 표면의 공간적 특성과는 대체로 독립적인 완전한 에너지 스펙트럼이 분석기의 영상평면에 기록되도록 할 수 있다.

그러나, 분석기의 영상평면을 통과하는 전자들이 적절히 위치한 제 2렌즈 시스템에 수납되면, 곧 또 하나의 표면영상이 그 렌즈에 의해 형성되는데, 즉 제 2렌즈 시스템이 제 1렌즈 시스템의 효과를 역전시키는 것이다.

제 2렌즈 시스템이 얇은 단일렌즈로 구성된 경우에는, 배열을 수행함에 있어서, 분석기의 영상평면이 렌즈의 초점거리에 해당하는 거리만큼 렌즈로부터 간격져 있어야 하며, 또한 렌즈의 영상평면에 산출되는 영상은 렌즈의 초점거리만큼 렌즈로부터 간격이 있어야 한다.

이 영상은 분석기 영상평면상에 분포된 전자의 에너지 분산과는 독립적인데, 그 이유는 그것이 분석기 영상평면의 푸리에 트랜스폼을 구성하고, 그 결과 그것은 전자들이 평면을 통과할 때 이루는 각도에만 의존하기 때문이다.

이 영상을 구성하는 전자들의 에너지 대역은 물론 분석기의 통과 에너지를 변화시켜 선정할 수 있으며, 또한 표본과, 분석기 중심 궤적사이의 위치 에너지 차(즉 감속율), 또는 영상평면내에 위치하는 슬릿 위치의 폭(width)등을 변화시켜서 선정할 수 있다.

또한 분석기에 진입하는 전자계의 각도 범위를, 분석기의 객체평면에 위치하는 다른 슬릿를 이용하여 제한 하는것이 바람직 하다.

그러므로 표면상의 특정요소의 특성을 가진 전자를 선택하는 것이 가능하고, 또 표면상의 그 요소의 분포영상을 산출시키는 것도 가능하다. 한편 표면의 특정 부위에서 튀어 나오는 전자 에너지 스펙트럼을 기록할 수도 있다.

표면영상이 형성된 평면내의 이동렌즈시스템 내에 형성된 적절한 모양의 개구는 스펙트로미터가 영상화할 표본의 부위를 선정하는데 사용된다. 또 한가지의 알 수 있는 것은, 약간의 전자의 제 3렌즈에 들어가게끔 마련된 개구를 가진 분석기 영상평면내에서 검출기를 사용함으로써 대부분의 스펙트럼을 표면영상산출과 동시에 기록할 수 있다. 이와는 달리 분산축에 대해 거의 수직인 분석기의 영상평면에 있는 축을 따라 부분적으로 연장된 개구나 슬릿를 구비한 검출기를 사용할 수도 있다.

이리하여, 완전한 에너지 스펙트럼을 영상평면의 일부위에 기록할 수 있으며, 한편 검출기에 있는 개구를 통하여 최종 렌즈내로 통과하는 전자들에 의해 표면영상을 형성시킬 수 있다.

이 방법은 주사하는 방법보다는 분명히 더 효율적이며, 표면에서 방출된 최대한의 많은 전자를 사용

한다.

이하 본 발명의 선호된 실시예를 첨부도면을 참조하여 더 상세히 설명할 것이다.

제 1 도를 참조하면, 무레(4)가 방출하는 전자들은 상세히 후술할 이동렌즈 시스템에 의해 초점이 맞춰지며, 이 렌즈 시스템은 정전렌즈(1 및 2)로 구성된다.

이동렌즈 시스템은 물체(4)의 실제영상(3)을 산출한다. 영상(3)은 제 1정전 렌즈시스템(5)로부터 F₂ 거리에 위치하며, 시스템(5)은 반구형 커패시터형 전자 에너지 분석기의 객체평면(6)으로부터 F₂ 되는 거리에 위치하며, 상기 분석기의 중심궤적은 7번으로 표시 되었다.

물체(4) 및 이동렌즈 시스템의 출입구 요소(16 및 25, 제 5 도)는 대지진위에서 유지되며, 한편, 중심궤적(7) 및 렌즈 시스템 (5)의 출입구 요소(27 및 32, 제 5 도)들의 전압은 조정하여서 전자들이 에너지 분석기에 들어가기 전에 원하는 만큼 전자의 감속(또는 가속)을 달성시킨다.

렌즈 시스템(5)이 얇은 단일렌즈인 경우에는, 거리(F₂)는 렌즈 시스템(5)의 초점거리와 같게 만들어서, 영상(3)의 푸리에 트랜스폼이 객체평면(6)내에 존재하게 한다.

상기 평면(6)을 통과하는 전자들은 에너지 분석기를 통과하여, 분석기를 통과한 에너지 범위를 가진 전자들은 분석기 영상평면(8)을 통과하며, 평면(8)은 평면(6)에 대한 공역 평면이다.

평면(8)에 형성된 개구는 선정된 범위내에 드는 에너지를 가진 전자들을 통과하게하며, 이것은 종래의 전자에너지 스펙트로미터와 동일하다. 평면(6)에 존재하는 영상(3)의 푸리에 트랜스폼은 따라서 평면(8)에서 복재되나, 전술한 바와 같이, 평면(8)에 놓인 축을 따라 해당 전자의 에너지 분산이 수 반 한다. 평면(8)에 F₃ 거리만큼 간격져 위치하는 제 2정전 렌즈 시스템(9)은 (렌즈 시스템 (9)이 얇은 단일렌즈라고 가정할 때 , F₃가 렌즈 시스템(9)의 초점거리인 경우), 렌즈 시스템 (9)으로부터 거리 F₃ 되는 곳에 물체(4)의 제 2전자 영상(10)이 형성되게 하며, 이 영상은 평면(8)에 있는 개구를 통과하는 전자들에 의해 구성되는 것이다.

환언하면, 렌즈 시스템(9)은 평면(8)에 존재하는 에너지 분산 푸리에 트랜스폼으로부터 선정된 일정 에너지 범위내에 드는 전자를 영상(10)으로 전환시키는 작용을 하며, 영상(10)은 종래 방식으로 위치검출기를 사용하여 기록하게 된다.

전술한 바와 같이, 영상(10)은 평면(8)에 존재하는 에너지 분산에 의해 영향을 받지 않는다.

다음으로 제 2 도를 참조하면, R은 부분 구형에너지 분석기의 중심궤적(7)의 반경이며, 상기 분석기는 입구면(11)과 출구면(12)를 구비하여, 이 양자는 객체평면(6) 및 영상평면(8)에 대해 각도(θ)로 각각 기울어 져 있다.

또한 제 2 도에 나타난 것을 보면 r(φ)은 입구면(11)으로부터 분석기를 통하여 각(φ)만큼 주행한 전자의 궤적(13)에 대한 2차표이다.

궤적(13)상의 전자의 위치는 식[1]에 의해 주어진 다른 것을 보여줄 수 있다.

$$\frac{r(\phi)}{R} = + \epsilon^2(\cos^2 \psi - \cos \psi) + \alpha^2(-\tan^2 \theta \sin^2 \psi + \cos \psi - \cos^2 \psi + 2 \tan \theta \sin \psi \cos \psi) + \alpha p(-2 \tan \theta \sin^2 \theta + 2 \sin \psi \cos \psi) + P^2(-\sin^2 \psi) + \alpha \epsilon(2 \sin \psi - 2 \sin \psi \cos \psi + 2 \tan \theta \sin^2 \psi) + \epsilon p(2 \sin^2 \psi) + \text{etc} \dots \dots \dots [1]$$

식[1]에 있어서, p는 분석기의 객체평면(6)에 위치하는 물체의 표준화된 높이이며(즉 실제높이=RP), α는 면(11)에 대한 수직선과, 전자가 분석기 내에서 궤적(13)상에 달릴 때 그 전자가 면(11)에 접근하는 방향 사이에 형성되는 각도이며, ε·E_c는 궤적(13)를 따라 달리는 전자와 분석기의 통과 에너지 E_c사이의 에너지 차를 나타낸다.

분석기의 출구면(12)에 있어서, φ=180°-2θ이므로 식[1]에서 다음을 유도해 낼 수 있다.

$$\frac{r_2(\phi)}{R} = + p(-\cos 2\theta) + \epsilon^2(\cos^2 2\theta \sin \theta) + \alpha^2(-\tan^2 \theta \sin^2 \theta - \cos 2\theta - \cos^2 \theta - 2 \tan \theta \sin 2\theta) + \alpha p(-2 \tan \theta \sin^2 2\theta - 2 \sin \theta \cos^2 \theta)$$

$$\begin{aligned}
 &+ P^2(-\sin^2 2\theta) \\
 &+ \alpha \varepsilon (2\sin 2\theta + 2\sin 2\theta \cos 2\theta + \tan 2\theta \sin^2 2\theta) \\
 &+ \varepsilon p(2\sin^2 2\theta) + \text{etc} \dots \dots \dots [2]
 \end{aligned}$$

분석기의 출구면(12)에 있어서, 궤적(13)의 구배 $\frac{1}{r} \cdot \frac{dr}{d\phi}$ 는 다음 공식[3]에 의하여 주어진다.

$$\tan \alpha_1 = \frac{1}{r_1} \frac{dr}{d\phi} \quad \phi = \phi_1 \dots \dots \dots [3]$$

식[3]에 있어서, α_1 는 출구면(12)에 있어서, 면(12)에 대한 수직선과 궤적(13)사이의 각이며(상기 면(12)전자가 접근하는 면을 가리킴), r_1 는 $\phi = \phi_1$ 에서의 r 의 값이며, 여기서 ϕ_1 는 면(12)에서의 ϕ 의 값이다.

식[1]내지 [3]에서부터 다음 표현을 유도해 낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \alpha_2 &= \varepsilon (2\sin \theta \cos \theta) - \alpha p(-2\sin \theta \cos \theta) \\
 &+ \varepsilon^2(-2\sin \theta \cos \theta + 2\sin \theta + \alpha^2 - 2\sin \theta \cos \theta) \\
 &+ \varepsilon \alpha (4\sin^2 \theta) + \varepsilon p(4\sin \theta \cos \theta) \\
 &+ \text{etc} \dots \dots \dots [4]
 \end{aligned}$$

여기서 α_2 는 출구면(12)에 있어서 면(12)에 대한 수직선과 궤적(13)사이의 각이며, 면(12)은 전자가 나가는 쪽을 가리킨다.

그리고,

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 2\varepsilon - p \\
 &+ \varepsilon^2(2 - 4\sin^2 \theta + 4\sin^4 \theta) \\
 &+ \varepsilon \alpha (4\sin^2 \theta) + \varepsilon p(4\sin \theta \cos \theta) \\
 &+ \alpha^2(-2 - 2\tan^2 \theta \sin^2 \theta + 2\tan^2 \theta + 4\sin^4 \theta) \\
 &+ P^2(-4\sin^2 \theta + 4\sin^4 \theta) \\
 &+ \alpha p(-4\sin \theta \cos \theta) \\
 &+ \alpha \varepsilon (8\sin \theta \cos \theta + 4\tan^4 \theta) \\
 &+ \text{etc} \dots \dots \dots [5]
 \end{aligned}$$

여기서 P_2 는 영상평면(8)에 있는 중심궤적(7)에서 전자 궤적(13)가 표준화 이동된 것을 가리킨다. (즉 실지 이동은 RP_2 임)

식[4] 및 [5]로부터 분명히 알 수 있는 것은 $\theta=0$ 인 에너지 분석기, 즉 180° 섹터 분석기를 사용하는 것이 가능하, 왜냐하면 $\theta=0$ 일때 식내의 두번째 2차항은 0이되며, 그 력과 분석기의 수차(收差)를 극소화할 수 있기 때문이다. 그러나 $\theta \neq 0$ 인 분석기를 사용하는 것도 본 발명의 범위내에 든다.

이러한 기구의 적정형태를 선택하는 과정은 아래 예에서와 같으며, 아래 예에서는 180° 분석기를 표준으로 한 것이나, 식[4] 및 [5] 대신에 식[6] 및 [7]을 대치시켜야하며, 적절한 설계에 의하여 가장 중요한 수치를 극소화 시켜야 한다.

180° 섹터 분석기의 경우에 있어서, $\theta=0$ 가 되며, 식[4] 및 [5]는 각각 다음과 같이 된다.

$$\alpha_2 = -\alpha + (3\text{차항들}) \dots \dots \dots [6]$$

그리고

$$P_2 = 2\varepsilon - p + 2\varepsilon^2 - 2\alpha^2 + (3\text{차항들}) \dots \dots \dots [7]$$

3항들의 개수가 대개 10이라고 가정할때, 식[6] 및 [7]로부터 알 수 있는 것은 각 에러(error) $\Delta \alpha_2$ (이것으로 인하여, 전자들이 렌즈(9)를 통과한 후 영상이 흐리게 됨)은 α , ε 및 p 가 약 0.05를 초과하지 않을때(이것은 실제로 쉽게 달성될 수 있음), 약 10^{-4} 을 초과하지 않는다. 그러므로, 렌즈(9)의 초점거리(제 1 도의 F_3)가 150m m이면 최종영상(10)내의 이동 에러 $F_3 \Delta \alpha_2$ 는 약 15마이크론이 되며, 즉 말하자면 종래의 전자위치검출기의 해상도와 거의 같게 된다. 이렇게 렌즈(5 및 9)들의

초점 거리는 150mm가 되어 편리하게 되며, 분석기의 수차가 전자 검출기의 해상도와 거의 일치한다.

그러나, 150°섹터 분석기를 사용한 경우는, $\psi = 15^\circ$ 가 되고 또, 공간적 해상도 $F_3 \Delta \alpha^{1/2}$ (α 및 p 가 0.05를 초과하지 않을때)는 $F_3 = 150\text{mm}$ 이면 수mm 정도에 불과하며, 이것은 180°섹터 분석기의 사용의 잇점을 분명히 알게 하여 준다.

전술한 바와 같이, 렌즈 시스템(5) 및 분석기의 전극에 가한 전위는 표본에서 방출한 전자 에너지가 분석기에 맞는 통과 에너지가 되도록 그 전자에너지를 변경시킬 수 있도록 배열될 수 있다.

이것은 분석기의 공간적 해상도 또는 에너지 분할도를 심하게 저하시키지 않고도 수행할 수 있다.

실용적인 하나의 설계를 다음과 같이 수행할 수 있다.

시스템 확대가 분석기 통과에너지와 관계없이 보장하는 한가지 방법은 감속 평면과 공간적 영상을 일치하게 만드는 것이다. 또한 감속후, 전자선의 발산각은 더 커지며, 여러 렌즈의 색수차(chromatic aberration)는 전반적인 공간 해상도를 제어하는데 있어서 가장 중요한 요소가 되기 쉽다.

제 3 도는 도시한 렌즈시스템을 고려해 보면, 평면(14)은 영상(3)과 일치하는 렌즈 시스템의 감속 평면을 대표한다. 평면(14)의 좌측방향으로 전자들은 에너지 E_0 를 가지며, 우측 방향으로는 에너지 E_c , 즉 분석기의 통과 에너지를 가진다

렌즈 시스템(5)이 물체(4)의 색수차에 미치는 영향은 다음공식[8]에 의하여 주어진다.

$$\Delta c = \frac{1}{M^2} \frac{E_0}{E_c} {}^{1/2} C_c(5) \cdot \alpha \cdot \frac{dE}{E_c} \dots \dots \dots [8]$$

여기서 Δc 는 렌즈(5)가 물체(4)의 색수차에 미치는 영향을 가리킨다. α_0 는 물체(4)에 대한 전자선의 발산각이다. $C_c(5)$ 는 렌즈(5)의 색수차 계수이다.

M은 렌즈(1 및 2)에 의한 물체(4)대 영상(3)의 확대도이다. dE 는 분석기의 에너지 통과 대역이다.

렌즈(5)에 의한 색수차 효과가 적고 적합하도록 보장하기 위해서는 렌즈(1 및 2)의 확대도 M을 충분히 크게 만들어서 렌즈 시스템(5)의 색수차 계수의 증폭(E/E_c)^{3/2}를 극복할 수 있어야 한다. 대표적인 가동조건은 $E=885\text{eV}$ 및 $E_c=12.5\text{eV}$ 이어서 $(E/E_c)^{3/2} M^2=1$ 일때 $M=24.4$ 가 되게 하여야 한다.

그러므로, 렌즈(5)의 색수차가 객체렌즈 시스템의 수차와 비교할때 별 차이가 없다면, $M \gg 24$ 가 된다.

이것이 의미하는 것은, 감속은 확대도가 작은 그 이전의 영상에서가 아닌, 영상(3)에서 일어나게 하는 것이 좋다는 것이며, 감속 평면과 렌즈 시스템(5) 사이에 있는 렌즈들에 의한 색수차 영향은 그 만큼 커지는 것이다.

다음에, 렌즈의 구면수차(球面收差)가 시스템의 공간적 해상도에 미치는 효과를 고려해 보면, 구면수차가 해상도에 미치는 영향 δ_s 는 식[9]에 의하여 주어진다.

$$\delta_s = \frac{1}{4} C_s \alpha_0^3 \dots \dots \dots [9]$$

여기서 C_s 는 객체렌즈 시스템(1)의 구면수차가 압도적으로 지배하는 전체 렌즈 시스템의 구면수차 계수이다

색수차가 해상도에 미치는 영향요소 δ_c 는 식[10]에 의해 주어진다.

$$\delta_c = C_c \alpha_0 \cdot dE/E_0 \dots \dots \dots [10]$$

여기서 C_c 는 전체렌즈 시스템이 색수차 계수이다.

전술한 바와 같이 M이 충분히 높다고 가정할 경우, 다만 렌즈 시스템(5) 및 렌즈 시스템(1)만이 전체 수차에 상당한 영향을 미친다.

그러므로,

$$C_c = C_c(1) + C_c(5) \cdot \frac{(E_c/E_0)^{3/2}}{M^2} \dots \dots \dots [11]$$

여기서 $C_c(1)$ 은 렌즈 시스템(1)이 색수차이다.

$$\delta_s = \delta_c = \delta_1 \dots \dots \dots [12]$$

로 잡으면, 식[9] 및 [10]으로부터 다음과 같이 유도 된다.

$$dE = \frac{C_s}{4} \cdot \frac{E_0}{C_c} \cdot \delta^2 \dots [13]$$

또 식[9]로부터 다음식이 유도된다.

$$\alpha_0 = \frac{4\delta}{C_c} \dots [14]$$

객체평면 [6]에서의 전자선의 폭(d_{in})이 작은 경우에는 dE 는 출구 슬릿 폭(d_{out})을 변화시켜 제어할 수 있기 때문에, 다음 식이 성립한다.

$$d_{out} = (2R \cdot dE/E_c) - d_{in} \dots [15]$$

또한 라그랑계 - 헤름홀츠 식으로부터,

$$d_{in} = \frac{2F_1 \alpha_0}{M} \cdot \frac{E_0}{E_c} \dots [16]$$

이기 때문에, 식[15]으로부터 다음 식을 유도해 낼 수 있다.

$$d_{out} = 2R \cdot \frac{dE}{E_c} - \frac{2F_1 \alpha_0}{M} \cdot \frac{E_0}{E_c} \dots [17]$$

이와는 달리 d_{in} 이 원하는 d_{out} 의 값보다 값이 큰 경우에는 α_0 및 dE 를 조정하여 압력 선풍이 d 와 동일하게 만들어야 하기 때문에,

$$d_{in} = d_{out} = R(dE/E_c)$$

가 되며, 또한

$$\delta = \delta_c \text{가 되고 한편 } \delta_s < \delta_c \dots [18]$$

가 된다. 식 [12], [16] 및 [18]에 의해

$$\alpha_0 = \frac{MR}{2F_1} \cdot \frac{dE}{E_c} \dots [19]$$

가 되며, 또

$$dE = \frac{2F_1}{MR C_c} \cdot \frac{E_0}{E_c} \delta^2 \dots [20]$$

이 된다, 식[9] 내지 [20]에 있어서, δ 는 물체(4)에 대한 최종 영상의 선명도를 하며, 즉 시스템에 의해 세분되는 가장 작은 요소이다.

영상부위 δ^2 로부터 난각 δ_0 의 콘(cone)의 형으로 향하는 카운트 속도 X' 는 식[21]에 의해 주어진다.

$$X' = \beta'(E_0) dE \cdot \pi \cdot \alpha^2 c \delta^2 \dots [21]$$

여기서 $\beta'(E_0)$ 는 물체(4)로부터 에너지 대역 E_0 에 있는 전자가 방출하여($E_0 + dE$)에 도달하였을시 그 전자의 명도를 표시한다. 식[10], [12] 침 [21]로부터 다음식이 유도된다.

$$X' = \beta'(E_c) \cdot \pi \cdot \frac{E_0^2}{C_c^2} \cdot \frac{\delta^2}{dE} \dots [22]$$

식[22]는 해상도 δ 에 대한 X' 의 극대화를 꾀하기 위하여 C_c 및 dE 는 극소화되어야 하는 것을 나타낸다.

식[11]로부터 알 수 있는 것은, M 의 값이 크면, C_c 의 최소치는 $C_c(1)$ 이 되며, 또 d_{in} 을 감소시켜, 식 [20]보다는 오히려 식[13]이 적용 가능하기 때문에, X' (X' (최대)의 최대치는 식[23]에 의하여 주어진다.

$$X'(\text{최대}) = \beta'(E_c) \cdot \pi \cdot \frac{4}{C_s} \cdot \frac{E_0}{C_c(1)} \cdot \delta^{1.5} \dots [23]$$

어떤 렌즈의 배열 형태든간에 dE , d_{out} , α_0 및 X' 의 값들은 $d_{in} < d_{out}$ 의 경우에는 식[1],[17],[14] 및 [22]로부터 계산해 낼 수 있고, $d_{in} = d_{out}$ 의 경우에는 식[20][18][19] 및 [22]로부터 계산해 낼 수

있다.

표 1은 δ, E 및 M 에 대한 몇가지 대표적인 선정치를 표시한다.

[표 1]

	δ(μm)	E(eV)	12.5		50		100	
		M	16	64	16	64	16	64
		C(mm)	1440	399	469	339	379	333
dE(eV)	2.5	0.14	0.25	0.35	0.29	0.47	0.30	
	10	0.28	0.62	0.70	0.73	0.93	0.75	
	40	0.56	1.57	1.41	1.85	1.86	1.88	
d(mm)		1.71	5.11	1.06	1.30	0.70	0.59	
		3.41	13.5	2.11	3.68	1.40	1.75	
		6.82	35.5	4.23	9.99	2.80	4.85	
α (mrad)		11	22	15	22	13	22	
		22	36	27	36	25	36	
		43	57	54	57	50	57	
X'(max)								
X'(cps)	2.5	0.08	0.01	0.07	0.03	0.08	0.04	0.08
	10	8.4	1.19	6.99	4.47	8.21	5.16	8.28
	40	854	152	706	569	830	660	846

표1에서 밑줄친 수치들은 d_{in} = d_{out} 가 되는 값들이다.

여러식에서 사용한 C_s 및 C_c 의 값들은 1976년 엘스비어 회사 간행 "정전렌즈"에서 하팅 및 래드가 제공한 렌즈표에서 발견할 수 있다. C_s는 거의 완전한 렌즈 시스템 1 (식[9]에 기인한다고 가정하는 점과, 한편 C_s는 렌즈 시스템(1) 및 렌즈(5, (식[11]에 의해 결정된다는 사실을 유의해야 할 것이다.

표1에서는 다음 규격을 사용하였다.

렌즈 5 : -초점거리(F₃) = 150mm

직경=60mm

렌즈 1 : -초점거리 = 64mm

직경=32mm

하팅과 래드의 술어를 용하여, C_s 및 C_c 를 결정하기 위해 사용한 기타 지표들은 A/D = 1, G/D = 0.1, D₁ = D₂ 및 V₁ = V₃ 등이며, 이것들은 종래의 3요소 렌즈에서도 전형적으로 사용한 것들이다.

전반적 수차에 미치는 렌즈(9)의 영향은 식[24] 및 [25]로부터 수정해 낼 수 있으며, 이 식들은 물체(4)의 평면에 나타나 렌즈(9)에 의한 구면차(Δ_s(9)), 색수차(Δ_c(9))등을 제공하여 준다.

렌즈 시스템(9)을 횡단한 후에 영상(10)내의 한 점에 수렴하는 전자 콘의 반각은 d_{out}/2F₃ 이고, 여기서 F₃ 은 렌즈(9)의 초점거리이며, 따라서 렌즈(5) 및 렌즈(9)가 동일하다면(즉, 물체(4)에 대한 영상(10)의 확대도가 물체(4)에 대한 영상(3)의 확대도와 같다면),

$$\Delta_s(9) = \frac{1}{4} C_s(9) \frac{d_{out}}{2F_3} \frac{1}{M} \dots \dots \dots [24]$$

이 되며, 또

$$\Delta_c(9) = C_c(9) \frac{d_{out}}{2F_3} \frac{dE}{2E_c} \frac{1}{M} \dots \dots \dots [25]$$

이 되며, 여기서 C_s(9) 및 C_c(9)는 각각 렌즈(9)의 연수차 계수 및 색수차 계수이며, 이 계수들은 하팅과 리더가 제공한 표에서 발견할 수 있다.

식[24] 및 [25]에 의하면, M이 약 25이상인 경우, 그리고 E가 50eV이상인 경우의 선정된 값에 비하여 Δ_s(9) 및 Δ_c(9)는 미비하다는 것을 알 수 있다.

표1은 E(50 및 10eV) 최고값을 사용하여 X'의 최고값을 얻을 수 있다는 것을 보여준다.

또한 M의 값이 16 또는 64일때 E의 최고값(50 및 100eV)들을 사용하면, Δ_s(9) 및 Δ_c(9)는 각각 값의 1% 및 20%가 된다. 따라서 선호된 실시예에서는 50 내지 100eV의 통과 에너지를 사용하며, 16 내지 64의 가변성 확대도를 사용하는데, 이 범위들은 상세도와 검토할 부위에 맞게끔 선정된 것이다. 주어진 일정 해상도에 대한 α_o 및 d_{out}의 적정치들은 M의 값에 따라 약간 변화하나, 이것은 심각한 문제가 아니다. 일반적으로 M, E_c 및 E_o의 주어진 값에 대하여 주어진 해상도 δ에 있어서 최대 카

온트 속도를 산출시키는 α_c 및 d_{out} 의 유일한 배합수가 있으며, 이 값들은 위에 제시한 식들에 의하여 선호된 실시예에 대해 여측을 할 수 있다.

전술한 과정을 거친후, 어떤 특정분위기 및 렌즈 시스템에 대해서도 일련의 유사한 식들은 유도해 낼 수 있으며, 적정화시킬 수 있다.

본 발명의 주요 부품 요소들의 배치 상황은 제 4 도에 도시되어 있다.

에너지 분석기는 외부 반구형 전극(30)을 구비하며, 이 전극은 분석기의 전공 하우징(38)의 뚜껑(39)으로부터 절연시키는 절연체(40)위에 지지되어 있다. 내부 반구형 전극(31)은 기타 절연성 지지물(도시되지 않음)에 의해 전극(30)으로부터 절연된 상태로 지지되어 있다.

하우징(38)은 플렌지(41)에 의해 표본 챔버(42)에 연결되며, 한편 이 챔버는 플렌지(34)에 의해 진공펌프, 대표적인 경우, 확산성 진공펌프(도시되지 않음)에 연결되어 있다.

표본(29)은 지지되어 그 표면은 물체(4)(제 1 도)의 평면에 위치하여 조종기(44)를 통하여 로드(43)에 의해 검사할 수 있게 되어 있다.

에너지 분석기 입구 및 출구의 개구는 하나 또는 그 이상의 회전식 판(45)위에 설치되어, 판을 돌리므로써 슬릿의 상이한 쌍들을 맞추어 사용할 수 있다.

전자 검출기(37), 가급적 위치 민감성 검출기는 회전식 판(45)위에 편리하게 설치되어, 필요시 에너지 스펙트럼을 기록할 수 있게 되었다. 검출기(37)에도 하나의 개구를 설치하여, 이 검출기 및 검출기(35)(후술함)에 의해 스펙트럼과 공간적 영상을 동시 기록할 수 있다.

일차선 발생기(36)는 챔버(42)에 부착시켜, 표본(29)을 입자선이나 방사선으로 투사시키며, 이 투사에 의하여 광전자나 오제 전자가 표본으로부터 방출하게 한다.

발생기(36)는 대개 X-선, 전자선, 이온선, 자외선 및 광선을 발생시킨다.

이러한 형의 모든 표면 탐지기구에 있어서 공통된 바와 같이 챔버(42) 및 하우징(38)의 방력은 10^{-8} torr 이하로 유지된다.

제 4 도에 도시한 바와 같이, 분석기의 입출구 인근에는 여러가지 정전 렌즈 시스템을 배치한다.

위치 민감성 검출기(35)는 렌즈(9)의 영상 평면에 형성된 있는 표본 영상을 기록하기 위해 사용한다.

검출기(35)는 설명하는 바와 같이, 썩기형 및 대상체형 검출기이다.

이러한 검출기에 의한 가시적 영상 또는 인쇄된 모양등을 발생시키기 위한 전자신호 처리기구는 이 분야에 공지되어 있다.

렌즈 시스템(9)에 의해 산출된 영상의 확대된 영상이 검출기(35)상에 필요한 경우에는 본 발명의 제 2정전렌즈 시스템은 렌즈 시스템(9)과 보조렌즈 시스템(50)(제 4 도)으로 구성시키며, 이 보조 렌즈 시스템은 가변성 확대도를 구비한 주움렌즈(zoom lens)로 구성시키는 것이 좋다.

곧 렌즈(50)는 제 2정전 렌즈 시스템에 의해 산출된 최종 영상의 해상도를 검출기(35)의 해상도에 맞추는데 사용된다.

이 스펙트로미터 시스템의 여러가지 전극을 필요한 수준의 전압에 유지하기 위한 전력공급 방식도 또한 이 분야에 공지되어 있다.

검출기(35)에 의한 공간적 영상의 검출과 동시에 에너지 스펙트럼을 검출하기 위해 개구를 가진 검출기(37)를 사용하는 경우에는, 그 기록된 스펙트럼에는 간격이 존재할 것이며, 이 간격은 검출기(37)에 있는 개구에 기인하는 것이다.

이 에너지 스펙트럼의 인접부위의 미세 세부사항과 비교할 때 상기 간격이 크지 않으면, 검출기(35)에 의한 통합 카운트 속도를 사용하여, 상기 누락된 스펙트럼을 내삽시킬 수 있다.

제 5 도는 본 발명의 이동렌즈 시스템의 실용적 실시예 및 제 1정전 렌즈 시스템을 도시한다.

객체렌즈 3개의 요소로 구성되며, 이들은 15번, 16번 및 17번으로 지적되고 이 요소들은 각각 전압 V_0 , V_1 및 V_0 에 유지되어 있다. 객체 렌즈는 개구판(20)의 평면상에 표본(29)의 표면 영상을 형성할 수 있게끔 만들어져 있다.

판(20)상의 개구는 그 규격을 조정가능하게 하여 영상화할 표면 부위의 크기를 선정할 수 있게 하는 것이 좋다.

제 2개구 조정가능판(18)은 객체렌즈 바로 다음에 있는 초점평면에 위치시키는데, 이것은 도시한 바와 같으며, 상기 판(18)이 요소(16)의 중심점에서 떨어진 거리는 그리고 객체렌즈의 초점 거리와 거의 같은 거리이다.

판(18)상의 개구는 각 α_0 를 제어하기 위해 사용된다. 전자통로가, 흠어진 정전기장에 의해 영향을 받지 않게끔 보장하기 위하여, 이동 튜브(19)를 구비시킨다.

표본(29), 개구판(18 및 20), 그리고 튜브(19)는 전압 V_0 , 즉 보통 대지 전압에 유지시키며, 한편 V_1 을 조정하여 개구판(20)의 평면상에 영상이 형성되게끔 만든다.

이동튜브(19)의 한쪽 끝에 대칭적으로 배치한 8개의 전극(26)을 구비하는 스티그메이터(stigmator)

를 구비시키는데, 이것은 렌즈 시스템에 의해 생겨난 비점수차(非点收差)를 고정하기 위한 것이다.

렌즈요소(21, 22, 23, 24 및 25)들은 한쌍의 정전렌즈를 구비하며, 이 렌즈들은 렌즈 시스템(1)에 의해 개구판(20)에 형성된 영상을 기초로 하여, 감속평면(14)상에 하나의 영상을 형성시킨다. 요소(22 및 24)에 가한 전압 V_2 및 V_3 들은 조정하여서 렌즈 시스템의 확대도를 원하는 값에 맞춘다. 요소(21, 23 및 25)들은 전방 V_0 에 유지 시킨다.

요소(21, 22 및 23)들(좌측에 있는 부분)은 직경 20mm로 하는 것이 편리하며, 요소(23)(우측부분) 및 요소(24 및 25)들은 직경 60mm로 하는 것이 좋다.

요소(27, 28 및 32)들은 렌즈 시스템(5)을 구성하며(제 1 도) 이들은 각각의 전압 V_5 , V_4 및 V_5 에 유지된다.

개구판(33)에 있는 개구는 에너지 분석기의 입구를 구성하며, 이 개구는 평면(6)에 위치한다(제 2 도 및 제 3 도).

렌즈 시스템(25 및 27)사이에 위치하는 감속평면(14)을 통과하는 전자들은 다음의 과정에서 감속을 당한다(또 V_5 가 V_6 보다 더 높은 경우에는 가속을 당한다). 즉 전자들이 전압 V_0 에서 전압 V_5 로 이전할 때 감속 또는 가속을 받으며, 검출된 공간적 영상을 형성할 전자들은 에너지 E_0 를 가지고 나온다(E_0 는 분석기의 통과 에너지임). 렌즈 시스템(5)의 기능은 이미 설명한 바 있다.

제 6 도는 제 2정전렌즈 시스템(9)에 대한 적당한 실용적 배열도를 도시한다. 전압 V_5 , V_6 및 V_5 에 각각 유지되고 있는 요소(47, 48 및 49)들은 3-요소 렌즈를 구성하며 이것은 진술한 방식으로 위치 민감성 검출기(35)에 영상을 형성한다. 평면(8)에 위치한 개구판(46)은 에너지 분석기의 출구를 구성한다.

검출기(35)의 전압 V_7 은 V_5 보다 수백볼트 더 높게 유지하여, 렌즈를 떠나는 전자들이 가속되어 충분한 에너지로서 검출기에 충격을 줌으로서, 검출기의 효과적인 운영을 보장한다.

제 5 도 및 제 7 도에 도시한 렌즈 시스템은 단순한 하나의 예로서 의도된 것이며, 또한 다른 배열체도 사용할 수 있다는 것을 이해해야 할 것이다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

전자방출 표면의 영상을 산출할 수 있게 작동시킬 수 있는 전자의 스펙트로미터로서, 그 순차적 구성은, (a) 전자가 상기 표면에서 방출하도록 하는 장치, (b)상기 표면의 최소한 일부분의 전자영상의 푸리에 트랜스폼으로 제 1회절 평면상에 상기 전자들중 최소한 약간을 투사시키게끔 만들어진, 제 1정전 렌즈 시스템, (c) 객체 평면과 그 공역 평면인 제 1영상 평면을 구비하는 환상 커패시터형 정전 에너지 분석기로서, 이분석기는 상기 객체 평면과 상기 제 1회절 평면이 일치하게끔 배치되며, 또한 상기 제 1영상 평면상에서 에너지 분산 푸리에 트랜지스 전자를 투사할 수 있게 되어 있으며, (d) 선정된 범위의 에너지 수준을 가진 상기 에너지 분산 푸리에 트랜스폼 전자를 전달하기 위한 에너지 선택장치, (e) 상기 에너지 선택장치에 의해 전달된 전자를 수납하며, 이와 동시에 상기 표면의 최소한 일부분의 전자 영상을 제 2영상 표면에 투사하게끔 배열된 제 2렌즈 시스템 등으로 구성된 전자 스펙트로미터.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 또한 상기 표면과, 상기 제 1정전 렌즈 시스템 사이에는 이동정전 렌즈 시스템이 구비되며, 이 시스템은 상기 표면에서 방출하는 전자들을 수납하고, 이와 동시에 전자영상을 투사할 수 있게 배열된 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 이동 정전 렌즈 시스템은 최소한 16배의 확대율을 구비하는 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 이동 정전 렌즈 시스템은 16배 내지 64배의 범위 내에서 그 확대율이 조정 가능한 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항중 어느 하나에 있어서, 상기 표면과 상기 에너지 분석기 사이에 배치되며, 상기 표면에 대해 선정된 일정 각도를 이루는 방향으로 상기 표면을 탈출하는 전자들만을 상기 분석기 내에 수납하는 것을 특징으로 하는 스펙트로 미터.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 제 2영상 평면상에 제 1전자 검출기가 배열되어 있는 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 제 2전자 검출기가 상기 제 1영상 평면상에 배열되어 철회 가능하게 설치되어 있는

것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 8

제 6 항에 있어서, 개구를 가진 제 2전자 검출기가 상기 제 1영상 평면상에 배치되는 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 에너지 분석기는 부분적으로 구형체인 커패시터식, 정전기식 에너지 분석기인 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 제 1영상 평면과 상기 객체 평면 사이의 각도는 150° 내지 190° 의 범위 내에 드는 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 에너지 분석기는 그 중앙 투척궤도를 상기 표면의 전압과는 상이한 전압에 유사시키게끔 배열된 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 에너지 분석기는 최소한 5eV의 통과 에너지로서 운행할수 있게 배열된 것을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 13

전자방출 표면의 영상을 형성하는 방법으로서, 그 방법의 구성은, (a) 전자들이 표면에서 방출되도록 하며, (b)상기 표면의 최소한 일부분의 전자영상의 푸리에 트랜스폼을 제 1 회절 평면상에 산출시키게끔 배열된 제 1 장내로 상기 전자들중 최 최소한 약간을 통과시키며, (c) 객체 평면과 제 1영상평면을 구비한 환상 커패시터형 정전 분석기에 의해 발생된 제 2정전장내로 상기 푸리에 트랜스 전자들중 최소한 약간을 통과시키며, 상기의 전자는 상기 제 1회절 평면을 통하여 이륙하며, 이에따라, 상기 제 1영상 평면에 에너지 분산푸리에 트랜스폼을 산출시키며, (d) 선택된 범위내에 속하는 에너지를 가진 전자를 선택하며, (e) 전자선을 초점에 집중화시키게끔 마련된 제 3장내에 상기 선택된 전자들을 통과시키며, 이에 의해, 상기 선택된 범위의 에너지를 가진 전자들로 구성된 제 2전자 영상을 제 2영상 평면에 형성시키는, 등의 단계로 구성된 영상 형성방법.

청구항 14

전자 에너지 스펙트로미터로서, 그 순차적 구성은, (a) 전자들을 표면에서 방출시키는 장치, (b)상기 표면의 최소한 일부분에 대한 전자영상의 푸리에 트랜스폼으로서 사이 전자중 최소한 약간을 제 1회 절평면에 투사시키게끔 배열된 제 1정전 렌즈 시스템 (c) 객체 평면과 그 공역평면인 제 1영상 평면을 구비하는 환상 커패시터형 정전 분석기로서, 이 분석기는 상기 제 1회절 평면과 일치하는 객체평면과 함께 배치되며 또한 이 분석기는 상기 푸리에 트랜스폼의 전자들을 에너지 분산 푸리에 트랜스폼으로서 상기 제 1영상 평면에 투과하도록 배열되며, (d) 상기 에너지 분산 푸리에 트랜스폼에서 전자들을 검출할 수 있게 배치된 전자 검출기 등으로 구성된 전자스펙트로미터.

청구항 15

제 1 항에 있어서, 상기 제 1 및 제 2렌즈 시스템은 정전 렌즈 시스템임을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 16

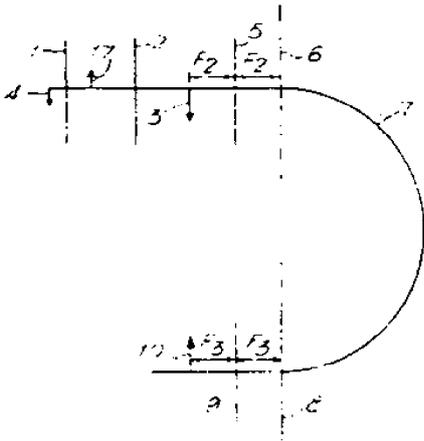
제 14 항에 있어서, 상기 제 1렌즈 시스템은 정전렌즈 시스템임을 특징으로 하는 스펙트로미터.

청구항 17

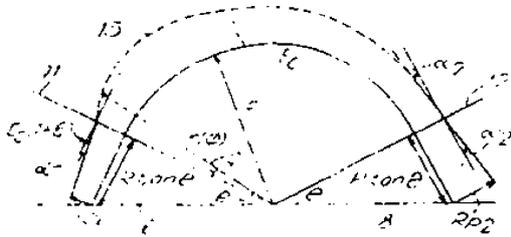
제 13 항에 있어서, 상기 제 1 및 제 3장은 정전기장을 특징으로 하는 방법.

도면

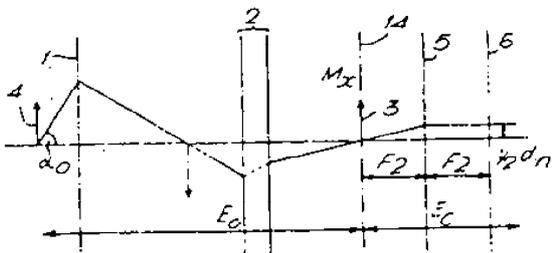
도면1



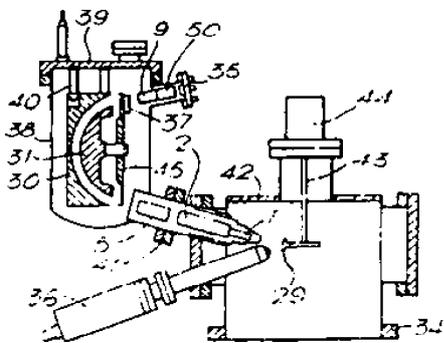
도면2



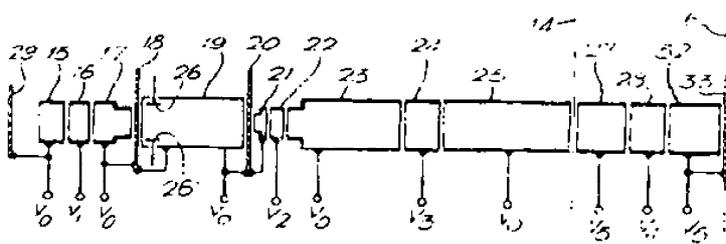
도면3



도면4



도면5



도면6

