

미국과 일본의 전자 세라믹스

1. 유전체 세라믹스

지난 15년 동안 $Pb(Mg,Nb)O_3$ 같이 PbO 기본 릴락소 조성을 개발하는데 많은 노력을 기울였다. 이 조성은 낮은 온도에서 소성할 수 있고, 높은 투자율을 갖는 유전체 세라믹스를 대량생산할 수 있게 해준다. 그러나 이번 조사 결과 납이 들어가는 유전체 세라믹스에 대한 연구는 앞으로 줄어들 것이며, 상업적으로도 쇠퇴기에 접어들 것이라는 의견이 지배적이었다. 이것은 납에 의한 환경오염, 아주 얇은 층을 갖는 다층 캐패시터 제조기술의 개발, 높은 온도에서 사용할 수 있는 X7R 캐패시터가 자동차, 어플라이언스, 가전제품을 중심으로 수요가 늘어나기 때문이다.

2. 다층 캐패시터

다층캐패시터의 온도안정성과 유전반응이 중요한 특성으로 요구되자 미국과 일본은 두 가지 방향에서 이 문제를 연구하고 있는 것으로 나타났다. 미국에서는 기존의 $BaTiO_3$ 를 기본으로 하는 X7R 조성으로 투자도를 3000에서 5000으로 높여 크기를 줄이는 방법을 연구하고 있다. 반면 일본의 무라타, TDK, 다이오 유덴 (Taiyo Yuden)같은 기업들은 환원분위기에서 소성할 수 있는 $BaTiO_3$ 를 기본으로 하는 X7R 조성을 개발하는데 힘을 쏟고 있다. 환원분위기에서 소성이 가능하면 니켈을 전극으로 사용할 수 있다. 이중 일본이 연구하는 것으로는 투자율을 3000 정도까지 밖에 얻을 수 없지만, 5 μm 보다 얇은 층을 만들면 전체 캐패시터 크기를 줄일 수 있다. 일본회사들이 이 작업을 성공적으로 상업화시킨다면 캐패시터에서 일본의 우세는 계속될 수 있을 것이다.

3. 유전체 분말

미국과 일본이 거의 비슷한 방법으로 분말을 생산하고 있다. 즉, 양쪽 모두 화학법을 이용해서 유전체 분말을 만들고 있다. 그중 미국에서는 옥살레이트 침전법이나 그 밖의 화학합성법을 이용해서 순수한 분말을 만드는 방법을 연구하고 있다. 이에 반해 일본은 수화열 합성에 많은 노력을 기울이고

있는데, 이 방법은 350℃ 보다 낮은 온도에서 수용액으로부터 결정체를 만들 수 있다. 일본은 수화열을 이용해서 만든 BaTiO₃ 분말을 가지고 니켈 전극을 쓸 수 있는 X7R 캐패시터를 만들었는데, 일본에서는 사카이 화학(Sakai Chemical)이 수화열로 만든 BaTiO₃ 분말을 공급하고, 미국은 카봇(Cabot)사가 공급하고 있다. 그런데 카봇사는 이와 관련된 특허를 1980년대 초반에 등록시켰지만, 아직도 생산은 시험단계에 있다. 그러나 사카이는 한달에 50톤 규모로 생산하고 있다. 그래서 이제 미국회사들은 수화열 방법으로 만든 BaTiO₃ 분말을 사용하느냐, 아니면 이제까지 하던 방법을 계속 연구하느냐하는 기로에 서있다.

4. 마이크로 웨이브 필터

통신시장이 확대됨에 따라 마이크로 웨이브 유전필터에 대한 수요가 늘고 있다. 현재 생산되는 필터는 온도에 안정하고 낮은 유전손실을 갖는 BaTi₄O₉ 조성을 기본으로 하는 것이 대부분이다. 마이크로 웨이브 필터는 유전체와 마찬가지로 작게 만드는 것이 점점 더 중요하며, 이것은 보다 높은 투자율을 갖는 조성을 개발하거나, 또는 다층 구조를 갖는 디자인을 개발해야만 가능하다.

무라타사는 최근 높은 투자율을 갖는 조성을 개발해서 작은 크기의 필터를 만들었다. 그러나 이 같은 성공에도 불구하고 다음 세대에 주축을 이루는 것은 다층 구조를 갖는 필터일 것을 예상된다. 이 다층 구조를 갖는 필터는 하나만으로 일반 필터의 몇 개를 상대할 수 있기 때문에 유망하다. 하지만 상업화를 위해선 조성과 전극, 그리고 다층구조를 만드는 제조방법에 많은 연구가 필요한 실정이다.

한편 실버전극과 저온에서 동시 소성할 수 있는 조성이나 환원분위기에서 구리 전극과 같이 소성할 수 있는 조성 개발도 필요하다. 다층 구조를 갖는 필터를 잘 만들기 위해선 내부에 전극을 다음과 같은 조건을 만족시킬 수 있도록 완벽하게 만들어야 한다.

- 다층 필터가 원하는 주파수를 갖게 하기 위해 정확한 내부전극패턴을 갖고 있어야 한다.
- 세라믹과 전극의 계면이 거칠어지면 유전 손실이 커진다.
- 전극층은 충분히 치밀해서 전도도가 높고 손실이 적어야 한다.

특허나 설문조사로부터 유전 필터는 앞으로 다층구조건 단층구조건 간에 저온 동시 소성 세라믹 패키지(low temperature cofired ceramic package)나 표면음파소자(surface acoustic wave device)와 경쟁해야 할 것으로 예상되

었는데, 이것은 패키지가 내부에 필터성분을 포함하는 형태로 발전하며, 음파소자는 마이크로 필터와 경쟁상대가 될 수 있는 소형화 기술개발이 발전할 것이기 때문이다.

5. 피에조 세라믹스

현재 피에조 세라믹스는 PZT 조성을 불-밀, 하소해서 만드는데, 현재까지 생산되는 PZT 분말은 필터부터 잉크젯 프린터에 이르는 많은 응용분야에서 요구하는 특성을 만족시켜 주는 수준이다. 한편 다층 피에조 세라믹스 액추에이터는 이미 자동차의 충격완화장치와 연료주입장치에 이용되면서 대량생산 가능성을 보여주고 있다. 그러나 가격과 신뢰성, 특성같은 면에서 상업화하는데 문제점이 있고, 이 때문에 그동안 예측되었던 피에조 세라믹스 시장에 대한 장밋빛 예측은 아직 실현되지 않고 있다. 확실히 몇 십원정도에 캐패시터를 만들 수 있는 다층 제조기술이 다층 액추에이터에는 아직 응용되지 못하고 있다.

비록 대량생산분야에서는 값을 맞출 수 없지만, 피에조 세라믹스는 앞으로 높은 값으로도 경쟁력을 갖출 수 있는 전문화된 시장에서 그 효용성을 보여 줄 것이다. 대표적인 예로는 자기 기억 장치의 헤드 포지셔너, 주사 터널링 현미경, 바코드 판독기, 레이저 프린터 분야를 들 수 있다. 또 바이오메디칼 분야도 좋은 시장중 하나인데, 이 분야에선 피에조 세라믹스 단결정이 영상 이미지를 만드는데 쓰일 것으로 예상된다.

6. 새로운 제조방법

피에조 세라믹스-고분자 복합체를 값싸게 만들기 위해 그동안 사출성형법이 개발되었다. 이 방법으로 만든 제품은 초음파 영상이나 진동완충장치에 응용하는 것을 목표로 하는데, 보다 높은 주파수에서 사용될 수 있기 위해선 보다 작은 피쳐(feature)로 만들 필요가 있다. 그러나 피쳐크기가 50 μm 보다 작아지면 만드는 도중에 기계적인 특성이 문제가 된다. 그래서 작은 입자 크기로 구성된 미세구조를 갖는 제품을 만드는 새로운 방법이 개발되고 있다. 이렇게 되면 특성을 잘게 유지하면서 기계적인 특성은 좋게 할 수 있다. 소형 피에조 세라믹스 트랜스포머를 평판 디스플레이나 컴퓨터와 관련된 제품에 응용하기 위해 연구하고 있는데, 이를 위해선 높은 기계적인 Q와 높은 구동전압에 작동할 수 있는 제품을 말 들어야 하며, 이 때문에 새로운 제조방법이 개발되고 있다.

화학합성법은 유전체 캐패시터를 만드는데 성공적으로 적용되었고, 또 많은

장점을 제공하였다. 그리고 이제까지 피에조 세라믹스 분말을 만들기 위해 수열합성법을 비롯한 많은 방법들이 개발되고 있다. 그러나 아직까지 좋은 분말을 만들 수 있는 방법들은 파일럿 단계를 넘어서지 못하고 있다. 따라서 좋은 PZT 분말을 만들 수 있는 새로운 방법이 대량생산수준까지 확대될 수 있고, 또 이 분말들이 제품을 대량생산하는데 이용될 수 있는지 여부는 아직 더 지켜보아야 한다.

일본에서는 납 성분이 들어가지 않는 피에조 세라믹스에 관심이 많은 것으로 나타났다. 그러나 아직까지 이와 관련된 특허는 등록되지 않았다. 또 납 성분을 포함하지 않는 피에조 세라믹스 라는 것이 있는지도 확실치 않다. 따라서 현재까지는 기존의 물질을 중심으로 연구가 진행되고 있다. 미국과 일본의 대학에서 납 성분이 들어있지 않는 피에조 세라믹스에 대해 연구하고 있는데, $(\text{Na}_{1-x}\text{Bix})\text{TiO}_3$ 시스템이 관심을 끌고 있다. 그밖에 관심을 끌고 있는 재료로는 페로브스카이트 구조를 갖고 있는 $(\text{Na,K})\text{NbO}_3$, 비스무스 층 구조를 갖고 있는 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 와 $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$, 그리고 텅스 텐 브론즈 계열인 $(\text{Sr,Ba})\text{-Nb}_2\text{O}_6$ 등이 있지만, 이같은 재료들이 PZT에 버금가는 피에조?봉? 갖고 있는지 아직 확실치 않다. 어쨌든 만약 앞으로 환경법률 등에서 납 성분이 없는 피에조 세라믹스를 원한다면 적절한 조성과 이에 맞는 공정을 개발하기 위해 많은 연구가 있어야 할 것이다. 또 시스템 디자이너들도 피에조 세라믹스의 스트레인을 증폭하는 문제에 많은 관심을 쏟아야 할 것이다.

7. 강유전 박막

1980년대에 연구가 활발하게 시작된 강유전 박막은 전자 세라믹스 분야에서 큰 관심을 받으며 1990년대 까지 계속 연구가 진행되고 있다. 강유전 박막을 반도체에 아용할 수 있다는 사실은 일찍 밝혀졌지만, 다성분 산화물을 증착하여 박막으로 만드는 기술은 최근에 와서야 개발되었다. 이 기술들은 원래 고온 초전도체 박막을 만들기 위해 개발된 것들인데, 이 분야의 연구비가 줄어 들면서 연구비가 늘어난 강유전 박막 쪽으로 이전된 경우다.

미국의 경우 강유전 박막에 대한 연구는 처음에는 대학과 중소기업, 그리고 정부기관 연구소에서 이루어졌다. 그러다가 1980년대 말 미국정부가 NVM (non volatile memory) 대한 연구를 강화하기 시작하였는데, 이 연구는 레이튼(Raytheon)과 맥더날 더글라스 사에 의해 주도되었다. 그러나 많은 연구비를 투자했음에도 불구하고 상업적인 제품을 만드는데에는 실패하였다. 현재 미국에서 NVM을 연구하는 곳은 램트론 (Ramtron)과 시메트릭스 사 두 군데이며, 이들은 일본 기업과 같이 공동으로 연구하고 있다. 그리고 특허와

삼포지엄을 조사한 결과 모토롤라와 내셔널 세마이컨덕터 사가 독자적으로 이에 대해 연구하고 있는 것으로 나타났다.

1992년부터 미국은 DRAM에 대한 연구에 우선순위를 두고 마이크론, IBM, 텍사스 인스트 루먼트같은 DRAM 생산업체들의 컨서시움과 노스 캐롤라이나 대학, 어드밴스드 테크놀러지 매터 리얼, 배리안 사 등의 도움으로 연구를 추진하고 있다. 반면 모토롤라사는 독자적으로 연구하고 있다. 최근에는 정부에서 대학과 중소기업에 대한 연구비를 줄이면서, 반도체 생산업체들이 연구비를 대주는 주요 후원자가 되고 있다.

일본의 경우 산업계에서 강유전 박막에 대한 연구개발비를 지원하고 있으며, 최근에 그 액수가 늘어나고 있다. 즉, 일본에서는 정부가 연구비를 제공하지 않으며, 대학도 높은 가격의 연구장비 때문에 강유전 박막 연구에 거의 참여하지 않고 있다. 따라서 미국처럼 일본도 강유전 박막에 대한 연구는 대기업이 주도한다고 볼 수 있는데, 일본에서 NVM 연구에 관여하는 기업은 롬, 도시바, 히다치, 후지쓰, 마스시타 전기, 올림포스 광학 등이다. 그리고 미쓰비시 전기, NEC, 도시바, 히다치들은 DRAM에 대해 연구하고 있다.

미국이나 일본이나 앞으로 강유전 박막을 이용해 메모리나 그 밖의 소자를 만들기 위해선 많은 연구비가 필요하며, 또 상업화를 위한 기술개발에 많은 노력을 기울일 것이다. 한편, 특허와 설문조사로부터 이 분야의 연구자들은 강유전 박막의 장래에 대해 확신을 갖고 있는 것으로 나타났다.

8. NVM의 미래

일본에 있는 연구자들은 향후 십 년 안에 NVM 반도체가 성공적으로 개발되리라 믿고 있다. 그리고 그 뒤를 이어 마이크로 액츄에이터같은 박막응용제품들이 개발될 것으로 기대하고 있다. 강유전 메모리를 만들기 위해 문제가 되었던 좋은 박막을 만들기 위한 증착방법, 계면층, 전극, 반도체에 집적하는 것들은 해결되었다. 그러나 아직도 많은 연구가 필요한 것도 사실이다.

PZT를 기본으로 하는 NVM의 가장 큰 문제점은 여러 사이클을 거치면서 나타나는 피로 (fatigue)인데, 최근 보고된 연구결과에 의하면 이것은 해결된 것으로 나타났다. 최근에 밝혀진 중요한 또 다른 연구결과는 비스무스 층 구조를 갖는 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT)은 피로현상을 나타내지 않는다는 것이다. 그러나 SBT는 증착온도가 750°C 가 넘기 때문에 대용량 메모리를 만드는데 부적합하다. 따라서 앞으로 NVM의 파트너가 될 수 있는 것이 PZT인지, 또는 SBT 인지를 결정하기 위해선 몇 년의 시간이 필요할 것으로 보인다. 또 SBT의 개발은 NVM이 성공적으로 개발될 수 있는 기회를 주지만, 그러나 최종적으로는 집적과 관련된 문제와 PZT 박막의 특성향상에 많은 연구개발

비가 투입될 것으로 보인다. 또 반도체 메모리에 대한 기술개발과 다른 반도체 기초 강유 전 박막응용에 대한 연구는 서로 보완적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

앞으로 기술적으로 문제가 될 가능성이 있는 것은 PZT 박막 층을 두껍게 해서 큰 값의 피에조 스트레인을 얻는 것이다. 또, 연구개발수준에서는 되었지만, 양산과정에서 싼값으로 피에조 박막을 제조할 수 있는 방법이 없다는 것도 중요한 문제 중 하나이다.

9. 앞으로의 전망

여러 가지 조사로부터 전자 세라믹스 분야의 연구 활동 전망은 다음과 같이 말할 수 있다.

특허를 분석해보면 일본과 미국은 活?세라믹스의 연구개발에서 서로 다른 구조를 갖는 것으로 나타났다. 미국의 경우 많은 연구비를 정부가 지원해주고 있으며, 목적은 대부분 특별한 군사용이었다. 반면 일본은 대기업들이 연구비를 지원하고 있으며, 원하는 상업적인 제품이 목표가 되었다. 미국의 경우 대학과 중소기업, 그리고 정부가 지원하는 연구실들이 전자 세라믹스 분야의 특허를 활발하게 등록하고 있으며, 일본은 업계에서 거의 모든 특허를 등록하고 있다.

다층 피에조 세라믹스 액츄에이터와 초음파 모터는 대량생산을 해도 제조비가 높기 때문에 생각만큼 응용분야가 늘어나지 못할 것이다. 생산비 문제가 해결되지 않는다면 피에조 세라믹스는 특별한 목적을 갖는 작은 시장으로 응용이 제한될 것이다.

소형화에 대한 요구가 지속됨에 따라 다층 제조기술이 각광을 받을 것이다. 그리고 세라믹 패키징 기술과 반도체 제조공정을 하나로 통합되어 여러 가지 기능을 갖춘 제품이 제조될 것이다.

수년 내에 4 메가바이트 이상을 갖는 대용량 메모리가 개발될 것이다. 이를 위한 가장 핵심적인 기술은 강유전 박막을 반도체에 집적하는 공정기술인데, 이것은 강유전 박막을 제조하는 온도가 650℃ 정도로 상당히 높아서 반도체 회로에 영향을 주기 때문이다. 그리고 현재 강유전 NVM 재료로 PZT와 SBT가 독자적으로 개발되고 있다. DRAM의 경우는 (Ba,Sr)TiO₃ 박막이 유력한 후보가 되고 있다. 그리고 가까운 장래에 각 재료들이 성공을 거두어야 한다는 것은 대용량 DRAM을 만드는 소재로 채택되는 문제와 맞물려 매우 중요한 문제가 될 것이다.

메모리가 성공적으로 개발될 경우, 그 뒤를 이어 마이크로액츄에이터와 MEM을 위한 강유전 박막들이 개발될 것이다. 이때 중요한 것으로는 피에

조 특성이 좋으면서 5 μm 를 넘는 박막을 만드는 것과, 이것을 집적시키기 위한 기술을 개발하는 것이 될 것이다.

특히, 미국의 경우, 의료와 통신시장이 전자 세라믹스의 중요한 분야를 차지하게 될 것이다. 예를 들어 진단과 수술과정을 돕는 제품에 피에조 세라믹스가 많이 쓰일 것인데, 이 분야는 높은 가격에도 불구하고 피에조 세라믹스가 사용될 수 있는 곳이다. 그리고 위성통신과 개인통신이 늘어남에 따라 기존과는 다른 새로운 광전자 재료와 소자들이 필요하고, 소형화와 집적에 대한 새로운 기술도 개발되어야 할 것이다.

일본에서는 전자 세라믹스 분야에서 환경이나 에너지와 관련된 문제가 중요한 주제로 떠오르고 있는 반면, 미국은 아직 여기에 큰 신경을 쓰지 않고 있다. 일본의 이 같은 우려는 앞으로 전자 세라믹스 분야의 연구과제 선정에 많은 영향을 줄 것이다. 새로운 환경법들은 납 성분이 포함된 전자 세라믹스의 사용을 억제할 것으로 보이며, 아울러 납 성분이 없는 전자 세라믹스를 개발하도록 압력을 가할 것이다. 더불어 환경 친화적인 제조공정분야도 앞으로 많은 관심을 받을 것이다.

전자 세라믹스를 연구 개발하는 시간이 점점 더 짧아질 것이며, 연구 개발비의 원천도 줄어들 것으로 보인다. 따라서 연구대상과 상업화 대상의 관계가 보다 가까워져야 할 것이다. 또 마케팅이나 마케팅에 대한 연구가 보다 많아져야만 한정된 연구개발비로 시장에서 원하는 제품을 개발할 수 있을 것이다.

참고문헌

- S. L. Swartz, T. R. Shrout and T. Takenaka, "Electronic Ceramics R&D in the U. S., Japan Part I: Patent History," Am. Ceram. Soc. Bull., 76 [7] 59-65, 1997)
- S. L. Swartz, T. R. Shrout and T. Takenaka, "Electronic Ceramics R&D in the U. S., Japan Part II: Japanese View," Am. Ceram. Soc. Bull., 76 [8] 51-55, 1997)