

고성능 칼코지나이드 재료 및 활용

Chalcogenide Materials and Its Applications

IT 융합 기술의 미래 전망 특집

송기봉 (K.B. Song)	융합기술미래기술연구부 선임연구원
이상수 (S.S. Lee)	암호기술연구팀 선임연구원
정명애 (M.A. Cheong)	융합기술미래기술연구부 부장
손승원 (S.W. Sohn)	융합기술연구부문 소장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 칼코지나이드 개발동향
 - III. 융합기술 활용방안 및 전망
 - IV. 결론

칼코지나이드 소재는 주기율표 6족의 칼코젠 원소로 구성되는 이원계 이상의 화합물 반도체 이자 반금속으로 분류되는 소재이다. 칼코지나이드 소재는 상변화 특성 및 광변환 특성으로 광 및 전기 메모리, 의료기기 및 광소자 등에 사용되고 있다. 최근 빠른 스위칭 특성 및 용액증착법으로 재료개발이 가능해짐에 따라 차세대 원천소재로 평가되어 전세계적으로 급격한 연구가 이루어지고 있으며 고유가로 인한 신재생에너지 등으로 활용분야가 확대되고 있다. 본 고에서는 칼코지나이드 소재의 핵심기술 및 특성, 주요기관의 최근 칼코지나이드 소재개발 동향, 연구개발 동향 및 발전전망에 대해 살펴보기로 한다.

I. 서론

기원전 13세기 이집트 문양을 보면 여러 가지 색으로 이루어져 있는 조각문양의 미술품에 다양하게 칼코지나이드 재료를 사용하고 있다(그림 1) 참조.



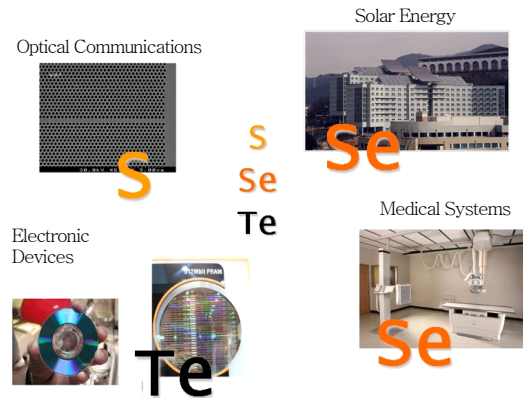
(그림 1) BC13세기 이집트 문양

조각문양의 노란색, 붉은색, 검은색은 주로 칼코지나이드 재료를 사용하고 있다. 이 문양의 노란색은 주로 황을 포함하는 재료를 이용하고 있으며 지구상의 매장량이 아주 많은 재료 중의 하나이고 비교적 쉽게 제조하거나 만들 수 있는 물질 중의 하나이다. 따라서 고대부터 사용되던 황을 포함하는 칼코지나이드는 지구상에 존재하는 재료 중 매장량이 아주 많은 지하자원 중의 하나였다.

칼코지나이드(Chalcogenide)는 주기율표 6족에서 산소(O)를 제외한 황(S), 셀레늄(Se), 텔레늄(Te) 등의 칼코젠 원소를 하나 이상 포함하는 이원계 이상의 화합물로 구성되어 있는 소재를 나타낸다. 초기의 칼코지나이드는 상변화(phase change) 성질을 나타내는 화합물을 일컫는 재료로 알려졌으나 최근에는 황, 셀레늄, 텔레늄을 포함하는 이원계 이상의 화합물 재료를 총칭하여 좀더 포괄적 의미를 가지는 재료로 확대되고 있다.

이원계 이상의 화합물로 구성되는 칼코지나이드 재료는 전기적 외부자극, 열 및 빛 에너지 자극에 의해 결정질에서 비정질, 반도체 내지 금속체, 이온내지 전자전도체로 쉽게 변화하는 다양한 성질을 가지는 재료로 알려지고 있다.

따라서 이러한 다양한 성질을 가지는 재료적인 특징으로 인하여 (그림 2)와 같이 광 및 전기 메모리



(그림 2) 칼코지나이드 재료활용 산업 예시

의 전자, 반도체산업, 포토닉 크리스탈 등의 광소자, 엑스선 방사광 전자의료영상 검출기의 의료산업 및 정보산업 등에 활용되고 있다. 최근에는 고유가 및 기후변화 협약을 대비하는 박막형 태양전지에 대한 중요성이 부각됨에 따라 신재생 에너지 등의 에너지 산업 등에도 활용 가능한 소재로 대두되고 있다.

칼코지나이드 재료가 활용되는 영역을 기술로 분류하면 <표 1>과 같이 분류가 가능하다. <표 1>에 따르면 칼코지나이드 소재는 정보저장, 정보처리 및 정보표시 등에 접목될 수 있는 재료기술로 다양하게 분류되고 있으며 그 활용범위가 광범위함을 알 수 있다[1].

본 고에서는 <표 1>에 분류된 재료 중 이온전도체 박막을 제외한 칼코지나이드 재료에서 공통적으

<표 1> 칼코지나이드 정보소재, 에너지소재 기술분류

정보저장/처리용 박막재료	- 고밀도 광메모리 재료 - 비휘발성 전기메모리 재료 - 탐침형 저장장치 재료 - 정보처리용 트랜지스터 재료
태양전지용 박막재료	- Te계 박막 태양전지 재료 - In 함유 Se(S)계 박막 태양전지 재료 - In 대체 Se(S)계 박막 태양전지 재료
이온전도체 박막재료	- 이차전지용 이온전도체 재료 - 연료전지용 Proton 전도성 재료 - 비휘발성 메모리 및 화학물질 검출용 이온전도체 재료
정보인식/표시용 박막재료	- 플렉시블 표시 재료 - 전자의료 광전변환 방사광 검출 재료 - 환경·화학센서 재료 - 물리센서 재료

<자료>: 2008년도 소재원천개발사업 기획보고서 발췌

로 개발되고 있는 재료 개발동향을 알아보고 해당되는 분류에서 사용되는 재료의 종류, 재료의 특성 및 재료를 이용하여 산업에 활용하는 방법과 전망에 대해 살펴보기로 한다.

II. 칼코지나이드 개발동향

1. 재료의 연구배경

1950년대의 칼코지나이드는 유리화합물(glassy compounds)이 반도체 성질을 나타내는 특이한 현상이 밝혀짐에 따라 비정질 반도체와 비결정상 고체(non-crystalline solid)라는 새로운 연구영역의 장을 제시하는 큰 역할을 하는 소재로 대두되었다. 그러나 이러한 연구는 당시 칼코지나이드 소재가 결정상 반도체 보다 더 적은 이동도(mobility)를 가지는 소재의 단점이 나타남에 따라 연구자들의 관심에서 멀어지는 소재가 되어 버렸다.

그러나 1968년 외부에너지의 인가에 따라 결정상과 비정질상으로 변화하는 특징인 상변화 특성을 나타내는 비정질 칼코지나이드 재료가 Ovshinsky에 의해 개발됨에 따라 산업적으로 아주 중요한 소재가 되고 있다.

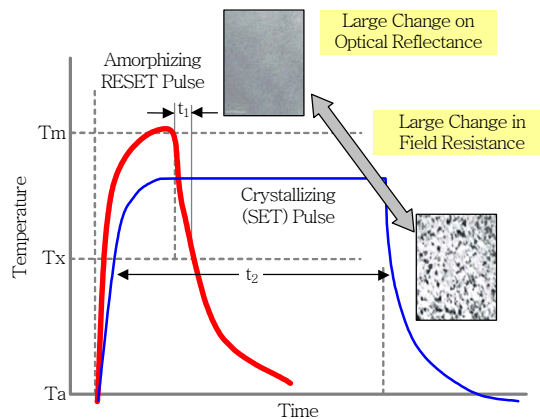
간단하게 상변화 특성 및 상변화 원리를 이용할 수 있는 방법에 대해 간략하게 언급하면 다음과 같다. 상변화 특성은 이미 광 메모리와 전기 메모리(비휘발성 상변화 메모리)와 같은 정보저장 산업에 사용되는 칼코지나이드 재료의 중요한 성질 중 하나의 특성이 되었다. 상변화 특성은 (그림 3)과 같은 온도와 시간의 그래프로 요약하여 설명할 수 있다.

외부에서 인가되는 아주 짧은 집속된 에너지(광 메모리는 집광된 레이저 광, 전기 메모리는 인가되는 펄스 전류)에 의해 비정질상과 결정상으로 변화하게 된다. 이때 광 메모리는 비정질상과 결정상과의 광 반사율 차이로 0과 1의 신호를 구분하게 된다. 전기 메모리는 광 메모리에 사용되는 동일한 소재를 이용할 수 있으며 전기 메모리의 경우 외부에서, 즉 외부에서 공급되는 펄스 전기 에너지에 의

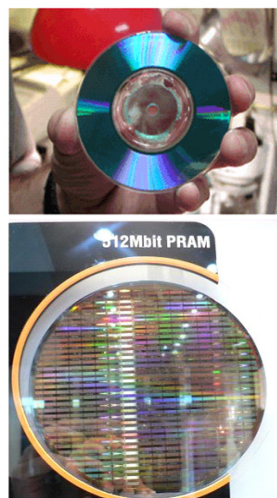
해 열이 발생하고 이때 발생하는 열(온도)에 의해 비정질상과 결정상으로 변화하게 된다. 이때 광 메모리의 반사율 차이는 비정질상과 결정상의 전기저항 차이로 나타나고, 전기저항 차이는 아주 크게 나타나며, 이 서로 다른 전기저항 차이로 0 혹은 1로 인식되게 된다.

현재 대표적으로 사용되는 칼코지나이드 상변화 소재는 Ge/Sb/Te 계열의 소재이다. 이러한 상변화 특성을 이용하는 메모리 소자가 개발됨에 따라 여러 가지 종류의 상변화 소재 개발에 주력하고 있다. (그림 4)는 칼코지나이드 이용 광 메모리와 전기 메모리 소자(512MB, 삼성전자)의 개발 예를 나타낸다.

황, 셀레늄, 텔루륨을 포함하여 이원계 이상 화합



(그림 3) 광 및 전기 에너지에 의한 상변화 원리



(그림 4) 광 메모리와 전기 메모리

물로 구성되어 있는 또 다른 소재로는 황동광(Chalcopyrite)이 있다. 황동광의 대표적 소재는 구리(Cu) 및 인듐(In) 등을 포함하는 $CuInSe_2$, $CdTe$ 등이 있다. 이러한 소재들은 최근 태양광 기술이 중요하게 됨에 따라 다양하게 칼코젠을 포함하는 여러 가지 형태의 소재로 개발되고 있다.

상변화 소재와 황동광 소재의 최근 활발한 연구 개발로 그 중요성이 부각됨에 따라 두 가지 산업소재 개발 방향이 상당부분 일치하는 소재가 나타나게 되었으며 최근에는 황동광 소재 및 상변화 소재 모두를 포함하고 총칭하여 칼코지나이드 재료로 통합 간주되고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 칼코지나이드 소재는 다양하게 적용되고 있다. 따라서 적용되는 산업분야와 함께 해당산업에 적용하는 재료의 이용원리에 대해 상세하게 언급한다.

2. 산업별 적용 재료 예사

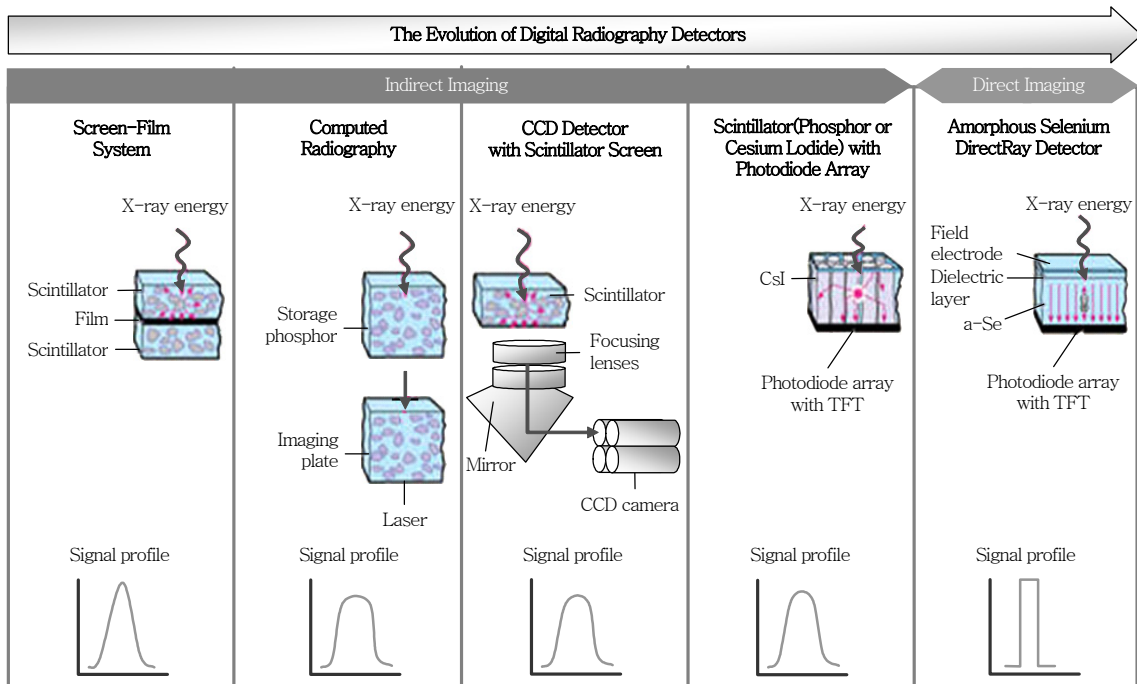
칼코지나이드 재료를 이용하는 산업은 (그림 2)

에 언급한 바와 같이 광통신 산업, 정보저장 산업, 신 재생 에너지 산업 및 의료 산업 등에 활용될 수 있다. 광통신 산업 및 정보저장 산업은 다수의 여러 동향분석 자료에 자세하게 언급된 바 본 특집호에서는 잘 알려져 있지 않은 의료산업 및 신 재생 에너지 산업에 사용되는 재료관점에서 자세하게 언급한다.

가. 의료산업 적용[2]

의료산업에 사용되는 칼코지나이드 재료의 대표적인 예는 디지털 촬영술(그림 5)에 표시한 엑스선 방사선 의료영상을 검출하는 직접방식 전자의료영상 평판형 검출기(DR)가 있다. (그림 5)는 DR의 발전 과정을 나타내며 직접방식과 간접방식으로 구분된다.

디지털 방사선 촬영술에서 최근 제조기술이 발달함에 따라 새로운 세대의 직접형 박막트랜지스터(TFT) 해독(readout) 기전을 갖는 대형 평판형 검출기의 생산이 가능해졌다. 이러한 새로운 기술에 비상한 관심을 갖는 이유는 기존 엑스선 장비를 갖춘 곳에서는 쉽게 설치할 수 있다는 점과 영상의 질



(그림 5) 디지털 방사선 촬영술 발전과정

이 기존의 필름-스크린 체계나 CR 체계보다 우수한 점이다.

참고로 칼코지나이드를 사용하는 엑스선에 민감한 원소를 포함한 원형의 박막 트랜지스터 체계는 detective quantum efficiency가 65% 이상인데, 이는 20~35%의 효율인 photo-stimulable storage phosphor 체계나 25%인 필름-스크린 체계보다 우수하다.

동작원리를 간단하게 언급하면 박막 트랜지스터 배열(TFT)은 활성성 전자 요소로 작용하게 된다. 박막 트랜지스터배열은 전형적으로 유리 기질(substrate) 위에 여러 층으로 쌓여지는데, 가장 밑바닥에는 readout electronics가 놓이고, 그 다음 층은 charge collector 배열이 놓인다. 맨 위층은 light-sensitive element가 놓여 “electronic sandwich”를 형성하고, 이러한 조립품은 보호막에 싸이며, 전선을 통해 외부 컴퓨터와 연결된다.

전자의료영상 평판형 검출기 DR은 조사된 엑스선이 감응물질을 거쳐 전기신호로 변환되는 과정에서 어떤 물질을 사용하느냐에 따라 (그림 6)과 같이 직접방식과 간접방식으로 나뉜다. 간접방식은 기존의 필름방식과 유사한 방식으로써, X-선 형광물질을 사용하여 조사된 X-선을 일단 가시광으로 변환한 뒤 무정형 실리콘(a-Si) 등을 사용하여 이를 다시 전기신호로 변환하는 방식이다.

칼코지나이드 재료를 사용하는 직접방식은 비정질 셀레늄(a-Se) 등 조사된 엑스선에 대해 바로 전자-정공 쌍(electron-hole pair)을 생성시키는 물

질을 감응물질로 사용하는 경우로 발생하는 전하를 수집 주사함으로써 직접 전기신호를 얻을 수 있는 방식이다.

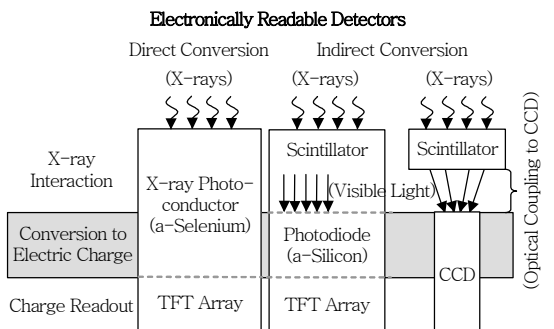
직접방식으로 사용될 수 있는 칼코지나이드 물질로는 비정질셀레늄, 텔레늄 계열 CdTe, CdZnTe 등이 있으나 현재 전세계적으로 비정질셀레늄을 사용하는 DR에 대한 연구가 집중되고 있다(그림 7 참조). 이는 비정질셀레늄이 xeroradiography와 복사기 등에서 널리 사용되어 오면서 물리적 특성에 대해 많이 알려져 있고 관련기술이 발전되어 있기 때문이다.

엑스선 에너지에 대한 비정질셀레늄의 에너지 변환 특성곡선은 진단용 엑스선 범위에서 희토류 계열의 형광물질에 비해 전반적으로 우수한 에너지 흡수율을 나타낸다. 비정질셀레늄을 사용한 검출기의 내부 구조를 살펴보면 크게 두 부분, 즉 대전된 비정질셀레늄 판과 TFT matrix가 서로 맞대어 붙어 있다.

대전된 비정질셀레늄 판은 상부전극(top electrode)과 유전층(dielectric layer) 그리고 비정질셀레늄 및 인가 전원장치로 구성된다. 대전된 비정질셀레늄 판은 엑스선에 감응되는 광도전판으로 작용하는 것으로써 상부 전극에 의해 평상시에 일정한 전위(약 5000 volt)로 대전되어 있다가 엑스선이 입사하면 부위에 따라서 입사한 양만큼의 도전이 일어나게 하는 역할을 수행한다.



(그림 7) 칼코지나이드 이용 직접방식 칼코지나이드 전자의료영상 검출기



(그림 6) 디지털 방사선 촬영술 평판형 검출기 원리 비교

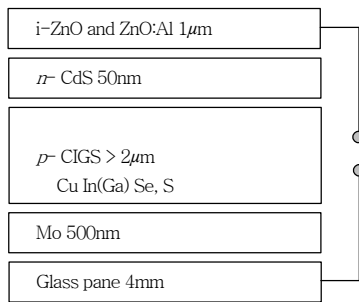
나. 박막형 태양전지 산업 적용

대표적인 박막형 태양전지 소재는 CuInS, Cu-InSe, Cu(In,Ga)Se, CdTe 등이 있다. 이들 CIS, CIGS 소재는 박막형 태양전지에서 가장 핵심적인

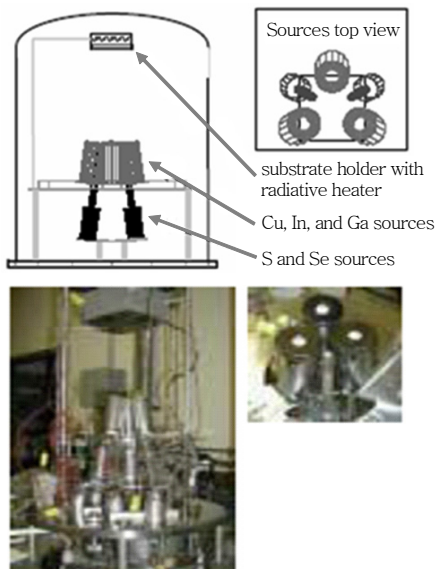
역할을 하는 광흡수층 역할을 하고 있다(그림 8) 참조).

박막형 태양전지에 사용되는 또 다른 칼코지나이드 소재로는 (그림 8)과 같이 버퍼 층으로 사용되는 CdS 박막이 있다. 이 박막은 CBD 방법으로 용액기반(solution-based) 칼코지나이드 소재로 개발되고 있다. 용액기반 칼코지나이드 소재 개발에 대해서는 다음 절에서 자세하게 언급된다.

현재 15~20% 정도의 높은 효율을 나타내는 통상적인 CIS 혹은 CIGS 박막은 다소 복잡한 공정인 동시증발 방법으로 제작되고 있다. (그림 9)에 표시한 장비를 이용하여 Cu, In, Ga, Se 혹은 S 소스를



(그림 8) CIGS 사용 박막형 태양전지 구조 예[3]



<자료>: U. Delaware

(그림 9) CIGS 동시증발장치

동시에 증발하여 CIGS 박막을 형성하는 방법으로 박막형 태양전지의 광 흡수층 박막을 증착하고 있다. 이러한 방법은 대면적 증착, 고온공정 및 새로운 구성원소의 화합물 조성을 바꾸는 새로운 소재 개발에 적합하지 않은 단점이 있다.

3. 최근의 칼코지나이드 개발동향

이상과 같이 칼코지나이드 재료를 이용할 수 있는 전통적 산업에 대해 언급하였다. 여러 산업에 적용되는 칼코지나이드는 일반적으로 진공 중 증착 방법으로 재료를 개발하거나 제조하여 이용하고 있다.

그러나 최근 IBM에 의해 개발되는 용액기반 칼코지나이드 재료의 성능이 산업에 적용할 수 있을 정도로 개선됨에 따라 일부의 산업을 제외하고는 용액기반 칼코지나이드 소재 개발방향으로 기술 발전하고 있다. 따라서 현재까지 용액기반 칼코지나이드 재료의 적용분야로서 개발이 가장 활발하게 이루어지고 있는 칼코지나이드 트랜지스터 및 박막형 태양전지 분야에 대해 알아보려고 한다.

가. 용액기반 칼코지나이드 트랜지스터

용액기반 소재는 재료의 특성상 액체상태이기 때문에 기판의 종류에 크게 좌우되지 않는다. 즉 플렉시블 기판 및 유리 혹은 wafer 등에 활용이 가능한 소재이다. 또한 대면적 공정이 가능한 소재가 될 수 있다. 용액기반 칼코지나이드를 적용할 수 있는 여러 가지 기판 중 타 기판에 비해 공정 중 온도 제약 조건이 있는 플렉시블 기판과 관련된 연구개발 동향에 대해 자세하게 분석하면 다음과 같다.

플렉시블 기판은 bio-compatibility, flexibility, softness, transparency, light weight, shock resistance 등의 장점으로 가장 주목 받고 있는 기판 중의 하나이다. 실리콘, 유기물 소재의 경우 플렉시블 기판 위에서 동작할 수 있는 실리콘, 유기물 전자소자에 대한 활발한 연구와 함께 해당소재를 활용한 연성전자소자(flexible electronics)에 대한 활발한 연구가 진행중이다.

그러나 플렉시블 기판에서 동작 가능한 실리콘 재료로는 비정질 실리콘이 있으나 재료의 기본 특성상 이동도가 작아 Flexible Display, Flexible OLED 등의 Low-End Application 연구영역에는 활용되고 있으나 로직 게이트 혹은 집적회로소자 및 고성능 센서 등의 High-End Application에는 사용하기 힘든 재료적인 단점이 있다.

따라서 결정상과 비정질상 형성이 다른 여타의 소재보다 훨씬 용이하여 광의의 용도로 활용될 수 있는 플렉시블 전자소자 요구에 대응하기 위해서는 이동도가 큰 동작특성이 우수한 전자소자의 개발이 필요하나, 다른 여타의 소재는 비교적 높은 공정온도의 열처리 과정이 필연적으로 수반되어 낮은 온도 공정이 필요한 플렉시블 기판의 장점을 저감시킬 수 있어 다른 대안소재를 필요로 하고 있다.

따라서 현재 플렉시블 기판 위에서 동작하며 대면적에서 높은 수준으로 동작하는 (이동도 $10\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 이상) 낮은 가격의 전자소자 제작이 가능하도록 하는 고성능 칼코지나이드 재료가 개발되고 있으며 대표적 적용 분야로 칼코지나이드 트랜지스터가 개발되고 있다. (그림 10)은 Nature지에 IBM에 의해 발표된 개념도로 용액기반 칼코지나이드 트랜지스터를 이용하여 제작할 수 있는 스마트카드이다.

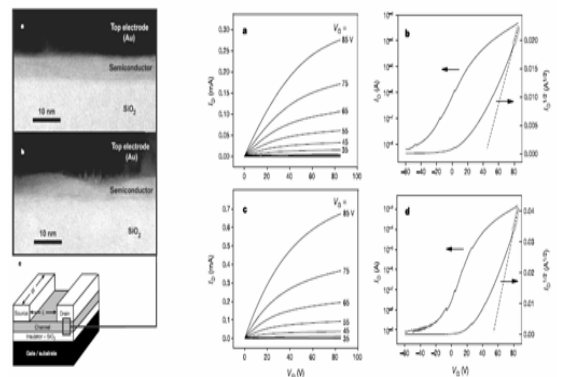
IBM이 개발한 칼코지나이드 소재는 대면적 소자 구현이 가능하도록 용액기반 소재를 개발하였다. 개발된 소재는 $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$ 로서 n형 소재이며 5nm인 아주 얇은 박막을 제작하였다. 용액기반 칼코지나이드 소재를 기반으로 처음으로 큰 이동도의 트랜지스

터를 제작하였으며 그 결과는 전류밀도 $>10^5\text{Acm}^{-2}$ 였으며, 이동도는 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ 였다(그림 11) 참조.

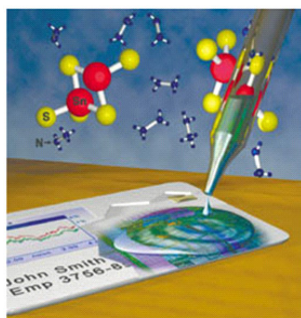
IBM에서 용액기반 칼코지나이드 트랜지스터의 가능성 제시 이후 활발하게 용액기반 칼코지나이드 트랜지스터 및 박막형 칼코지나이드 트랜지스터에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재의 칼코지나이드 트랜지스터 연구개발 방향은 고이동도 소재를 기반으로 하는 대면적 트랜지스터 개발에 중점을 두고 있다. 초기 이동도가 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ 정도인 $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$ 재료에서 (그림 8)은 각각 In_2Se_3 , CuInTe_2 용액 소재를 기반으로 제작된 칼코지나이드 트랜지스터를 나타내며, 이동도는 각각 $16.5\text{cm}^2/\text{Vs}$, $150\text{cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 결과를 나타내는 고성능 소재가 개발되었다(그림 12) 참조.

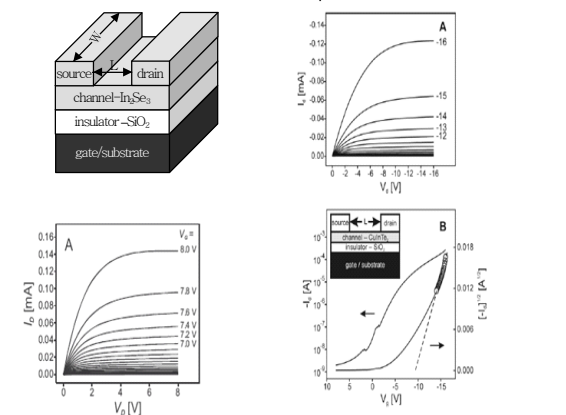
이미 앞서 언급한 바와 같이 현재 산업에 적용되



(그림 11) 용액기반 $\text{SnS}_{2-x}\text{Se}_x$ 칼코지나이드 트랜지스터



(그림 10) 용액기반 스마트 카드[4]



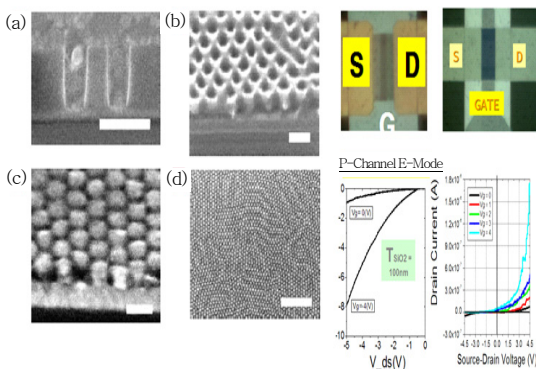
(그림 12) 용액기반 칼코지나이드 트랜지스터[5],[6]

고 있는 칼코지나이드 재료는 주로 상변화 칼코지나이드 재료이다. 즉 주로 Ge/Sb/Te(Se)으로 구성되는 삼원계 이상의 화합물이다. 이러한 Ge/Sb/Te로 구성할 수 있는 재료에서 용액기반 혹은 진공 증착 방법으로 상변화 칼코지나이드 소재의 물리적 특성을 개선하여 칼코지나이드 트랜지스터를 제작하는 방법 또한 개발되고 있다.

(그림 13)은 용액 기반 및 진공 증착 방법에 의해 제작된 Ge/Sb/Te(Se) 기반 칼코지나이드 트랜지스터를 나타낸다. 해당 칼코지나이드 소재의 장점은 앞서 언급한 비휘발성 상변화 전기 메모리와 동일한 소재이기 때문에 비휘발성 메모리의 1T1R 구조를 개선할 수 있는 하나의 방법을 동시에 제시할 수 있는 기술을 제공하고 있다.

칼코지나이드 소재를 이용하여 트랜지스터를 제작하기 위해서는 칼코지나이드 소재의 전기적/재료적 특성에 대해 명확하게 알아야 한다.

그러나 칼코지나이드 재료는 정보저장용 상변화 소재 및 태양전지용 광전 변환 소재로 편중되어 개발되어 오던 관계로 트랜지스터 제작에 필요한, 다양한 전자소자 제작에 필요한 물리적 상수 (예를 들면 도핑방법, 격자간격 및 구조 등) 등에 대한 데이터가 잘 알려져 있지 않은 새로운 연구영역이기에 이에 대한 기반연구는 칼코지나이드 트랜지스터를 개발하고자 하는 산업체 종사자 혹은 연구자에게는 필수적으로 진행되어야 할 일로 판단된다.



(그림 13) Ge/Sb/Te(Se) 기반 칼코지나이드 트랜지스터[7],[8]

나. 용액기반 박막형 태양전지

용액기반 칼코지나이드 소재의 또 다른 활용은 박막형 태양전지 개발에 활용할 수 있다. 일반적으로 용액기반 칼코지나이드 소재는 용액전구체(solution based precursor)에서 형성되는 금속 칼코지나이드로 형성되며 이러한 방법은 지금까지 언급한 칼코지나이드 트랜지스터 제작을 위해 최적화되어 있던 방법이다.

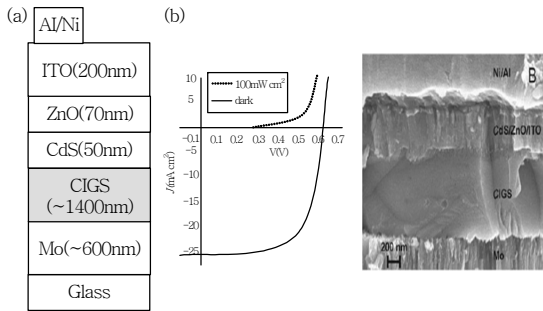
대표적인 박막형 태양전지 소재는 CuInS, Cu-InSe, Cu(In, Ga)Se₂, CdTe 등이 있다. 일부를 제외하고 통상적으로 이러한 소재를 제조하는 방법은 앞서 언급한 바와 같이 동시증발 방법으로 제작된다.

따라서 최근 용액기반 칼코지나이드 소재 개발 기술을 태양전지 제작에 활용하고자 노력하고 있다. 태양전지 제작에 적용되는 용액기반 및 용액전구체 금속칼코지나이드 제작방법을 간단하게 언급하면 다음과 같다. 용액기반 방법으로는 Cl(Chloride) 계열의 칼코젠 화물에서 용액전구체를 형성하는 방법, 나노입자 용액전구체를 형성하는 방법 등이 있다.

그러나 최근 하이드라지늄계 용액전구체를 이용하는 방법이 IBM에 의해 개발되었으며 이러한 방법으로 에너지 효율 10% 이상의 CIGS 박막형 태양전지를 개발하고 있다.

하이드라지늄계 용액전구체를 제조하는 방법은 먼저 하이드라지늄(Hydrazine) 화합물 및 임의로 황, 셀레늄, 텔루륨 또는 이들의 조합물 중에서 선택된 원소 칼코젠을 접촉시켜서 하이드라지늄 화합물 중의 금속 칼코젠화물의 하이드라지늄계 전구물질 용액을 형성하게 된다. 다음으로 열처리 방법에 의해 금속 칼코젠화물 하이드라지늄계 전구 물질에서 순수한 광 흡수 칼코지나이드 소재를 분리/추출하게 된다.

(그림 14)는 IBM에 의해 용액전구체를 이용하여 개발된 박막형 태양전지의 단면결과를 나타낸다. 비록 진공 증착방법에 의해 제작되는 CIGS 박막형 태양전지의 광 효율보다는 다소 낮게 제작되었으나 제작의 편리성 및 대면적 제작 가능성 결과를 제시함에 따라 향후 용액기반 칼코지나이드 재료개발의 연



(그림 14) 용액전구체 개발 박막태양전지구조[9]

구가 지속됨에 따라 현재의 단점은 보완되는 좋은 방법의 기술이 될 것으로 판단된다. 따라서 언급한 바와 같이 용액기반 칼코지나이드 소재의 경우 고성능 칼코지나이드 트랜지스터 및 고효율 대면적 박막 태양전지 소재로 적용하기 위해서 활발하게 연구되고 있다.

III. 융합기술 활용방안 및 전망

융합기술은 다양한 방면의 새로운 기술 발전을 제시하여야 한다. 재료의 융합기술에서 새로운 재료의 방법을 제시하기도 하며 새로운 개념의 기술융합에서 융합산업을 제시하여야 한다. 이러한 의미에서 칼코지나이드 재료는 융합기술에서 융합산업의 제시에 이르는 기본적인 역할을 할 수 있는 재료로 판단된다. 그 이유로는 칼코지나이드 재료는 정보 및 에너지 재료로의 융합을 추구하는 재료의 개발방향으로 발전하고 있기 때문이다.

현재까지 칼코지나이드 소재의 성능, 소재 개발 동향 및 전망, 적용산업에 대해 알아보았다. 칼코지나이드 소재 발전방향을 재료적인 관점에서 요약하여 정리하면 통상적인 고체 상태인 금속(반금속)의 진공 증착 방법 개발 방향에서 액체 상태인 용액/화학상의 재료에서 금속 재료를 추출하는 하이브리드 개념의 소재 개발로 발전하고 있다.

또한 칼코지나이드 소재는 메모리 등의 소재에서 출발하여 동시에 플렉시블 기판 위에서 트랜지스터 기능이 가능한 소자의 소재로 발전하고 있으며 나아가 플렉시블 기판 위에 로직 게이트, 나아가 마이크

로프로세서가 가능한 고성능 소재로서의 역할을 제시하고 있다. 이러한 방향은 메모리와 트랜지스터가 동시에 가능한 다양한 융합기술의 기본적인 요소기술이 될 것으로 판단된다.

덧붙여 칼코지나이드 재료는 효율이 높은 고효율 광 흡수층 박막이 가능하여 에너지 소자 재료로 가능하기에 장기적으로 앞서 언급한 정보 및 에너지 관련 산업, 의료 산업, 신재생 에너지 및 환경 산업 등을 동시에 발전시킬 수 있는 융합기술기반 재료로 전망된다.

IV. 결론

칼코지나이드 재료는 이원계 이상 화합물로 구성되어 있어 다양한 광 특성, 재료 특성 및 전기적 특성을 가지고 있다. 광 및 전기 메모리 소자, 전자의료영상 검출기, 박막 태양전지의 핵심소재로 이미 활용되고 있을 뿐만 아니라 최근 화학적 반응을 기반으로 하는 액체상태의 용액기반 고성능 칼코지나이드 재료까지 개발됨에 따라 전자소자의 기본요소인 고성능 트랜지스터까지 개발되고 있다. 따라서 이미 칼코지나이드 기술은 재료 및 소자에서 새로운 기술을 개척하는 기술이 되고 있으며 나아가 정보 및 에너지 융합의 새로운 기술을 개발하는 기술이 될 것으로 예측된다.

● 용어해설 ●

칼코지나이드(Chalcogenide): 주기율표 6족의 황, 셀레늄, 텔루륨 등이 포함되는 이원계 이상의 화합물 소재. 화학소재부터 반도체소재까지 형성이 가능하며 정보 및 에너지 기능과 함께 고성능 전계효과이동도(Field Effect Mobility)가 특징임.

약어 정리

a-Se	amorphous Selenium
a-Si	amorphous Silicon
CBD	Chemical Bath Deposition

CR Computer Radiography
DR Digital Radiography
TFT Thin-Film Transistor array

참 고 문 헌

- [1] 2008년 소재원천개발사업 기획보고서 발췌
- [2] 2007년 산업자원부 혁신기술연구회 전자의료영상 기획 보고서 발췌
- [3] 윤경훈, VON ARDENNE 2007 그림 발췌
- [4] David B. Mitzi, Laura L. Kosbar, Conal E. Murray, Matthew Copel, and Ali Afzali, "High-mobility Ultrathin Semiconducting Films Prepared by Spin Coating," *Nature*, Vol.428, 2004, p.299.
- [5] D.B. Mitzi, M. Copel, and S.J. Chey, "Low-Voltage Transistor Employing a High-Mobility Spin-Coated Chalcogenide Semiconductor," *Advanced Materials*, Vol.17, 2005, p.1285.
- [6] D.B. Mitzi, M. Copel, and C.E. Murray, "High-Mobility p-Type Transistor Based on a Spin-Coated Metal Telluride Semiconductor," *Advanced Materials*, Vol.18, 2006, p.2448.
- [7] Delia J. Milliron, Simone Raoux, Robert M. Shelby, and Jean Jordan-Sweet, "Solution-phase Deposition and Nanopatterning of GeSbSe Phase-change Materials," *Nature Materials*, Vol.6, 2007, p.352.
- [8] Ki-Bong Song, Sang-Su Lee, Kyung-Am Kim, Jeong-Dae Suh, Jun-Ho Kim, Taek-Sung Lee, Byung-ki Cheong, and Won-Mock Kim, "Undoped Homojunction Chalcogen Thin-film Transistors on Glass," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.90, 2007, p.263510, Ki-Bong Song, Sung-Won Sohn, JunHo Kim, Kyung-Am Kim, and Kyuman Cho, "Chalcogenide Thin-film Transistors Using Oxygenated n-type and p-type Phase Change Materials," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.93, 2008, p.043514.
- [9] D.B. Mitzi, M. Yuan, W. Liu, A.J. Kellock, S.J. Chey, V. Deline, and A.G. Schrott, "A High-Efficiency Solution Deposited Thin-film Photovoltaic Device," *Advanced Materials*, Vol.9999, 2008. 9. 1.