

高分子의 電氣電導性

Electrical Conductivity of Polymers

趙 義 煥 · 康 興 變

1. 緒 言

主鎖를 따라 광범위한 電子非偏在化(electron delocalization)를 갖는 高分子구조를 얻으려는 시도가 많았었는데, Little¹에 의해 有機超電導體(organic superconductor)를 합성할 수 있다는 것이 이론적으로 提示된 후 많은 진전이 있었으며 總說들이 발표되었다².

結晶性이 높은 高分子에서 分子量이 크며 이러한 電子非偏在화된 化學구조를 얻을 수 있다면 금속 基底狀態(metallic ground state)의 일차원적 배열을 얻을 수 있게 될 것이다³.

단일결합과 이중결합을 교대로 갖는 polyacetylene膜은 Shirakawa등^{4,5}에 의해 합성되었는데, 電子線廻折과 전자현미경 사진에 의한 연구 결과, polyacetylene 膜은 cis와 trans의 組成에 관계없이 結晶形이며, cis形은 200°C에서 1시간 가열하면 열역학적으로 더 안정한 trans形으로 바뀌어진다.

Polyacetylene誘導體를 사용하거나, 수소 원자의 일부나 전부를 有機 혹은 無機基로 바꾸든가 acetylene과 다른 置換된 acetylene 혹은 olefin과 共重合, 그리고 다른 混入體를 사용하는 등의 變化를 주면 絶緣體에서 半導體, 금속의 全領域에 이르는 電氣的 性質을 化學적으로 조정할 수 있다는 것이 알려졌다⁸. Polysulfur nitride (polythiazyl이라고도 함)의 경우도 1910년에 Burt⁹에 의해 생성이 관찰되었음에도 불구하고, 化學적 성질과 구조는 Goehring등¹⁰에 의해서 알려졌다¹²등은 지금까지의 연구 결과를

종합하여 발표한 바 있다.

이것은 tetrasulfur tetranitride로부터 합성되었는데, 中間體인 S₂N₂의 폭발성 때문에 적은 양(<5g)을 사용하여 結晶性的 配向된 섬유 다발을 얻었다¹³.

電氣電導성과 非等方性이 큰 TCNQ(tetracyanoquinodimethane)의 電荷移動鹽과 백금 complex에서 금속-絶緣體 轉移가 관찰되어 (SN)_x에 대한 관심이 커졌으며, (SN)_x의 완전한 結晶을 얻기 위해 蒸氣相에서 高分子를 보다 천천히 成長시킨 결과, 저온에서의 電導성이 현저히 커졌으며³, 모든 온도에서 걸쳐 금속성의 結晶은 얻었다¹⁴.

Jacques, P. Curie 형제가 1880년에 석영과 Rochelle Salt에 대해 처음으로 壓電氣(piezoelectricity)를 관찰한 후, Kawai¹⁵는 polyvinylidene fluoride (PVF₂)의 延伸된 膜에서 結晶性的 석영보다 3~5배 강한 壓電氣를 얻었으며, 이러한 현상은 대칭 중심을 갖는 物質에서는 관찰될 수 없고, 모든 光學 活性을 가진 물질은 결정화하여 원칙적으로 壓電性을 띠게 되어, wool keratin, wool cellulose, silk fibroin, 합성 폴리펩타이드에서도 壓電現象을 발견할 수 있다¹⁶.

壓電氣와 熱電氣(pyroelectricity)는 非等方性的 多結晶質 物質(polycrystalline substance), 혹은 非結晶性 物質에서도 생길 수 있다¹⁷.

本稿에서는 polyacetylene과 polysulfur nitride의 電氣 電導성과 PVF₂의 壓電氣와 熱電氣에 관한 지금까지의 연구 결과를 살펴보고 이들 高分子物에서 이러한 電氣的性質이 가능한 理論的 根源과 用途등에 관하여 記述하고자 한다.

2. Polyacetylene系 高分子

한국과학원 화학과(Iwhan Cho, Heung Sup Kang, Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science, Seoul, Korea)

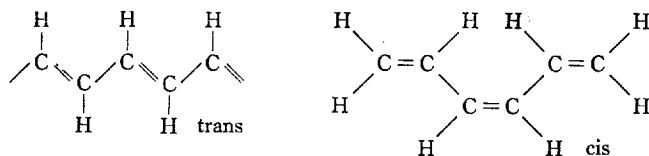


Figure 1. Schematic representation of cis- and trans-polyacetylene.

trans, cis-polyacetylene의 구조는 Fig. 1과 같다.

Trans-polyacetylene을 실온에서 10분간 브롬과 반응시키면 $(\text{CHBr}_{0.05})_n$ 의 분자식을 갖는 고분자물이 얻어지고, 전기 전도성은 증가하여 실온에서 $0.5\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 의 전도도를 갖는데, 올레핀을 할로젠화할 때와 같은 형태의 전하 이동 π 콤플렉스일 것으로 여겨진다.

또 장시간 브롬화 반응을 행하여 $(\text{CHBr}_{0.23})_x$ 의 구조식의 막을 얻었으며 실온에서 $0.4\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 의 전도도를 가진다.

염소에 대해서도 유사한 결과를 얻었으나 전도도의 증가는 보다 작았으며, $(\text{CHI}_{0.22})_n$ 은 실온에서 평균 $30\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 의 전도도를 나타내었고 온도 감소에 따라 천천히 감소하였다.

전하 이동은 수용체 음이온 존재하에 고분자鎖가 polycation으로 작용하여 고분자에서 수용체 쪽으로 일어난다고 하며⁸, 요드 화합물의 경우 Raman Spectra 연구 결과, I_3^- 와 I_5^- 를 발견하였으며, Baughman²⁰등은 요드 물질이 $(\text{CH})_x$ 格子에서 挿入層을 形成한다고 생각하였다.

混入된 polyacetylene은 수은같은 금속보다 더 좋은 전기전도체인데, 混入體로서 Br_2 , I_2 , AsF_5 같은 電子受容體, 혹은 Li , Na , K 같은 電子供與體를 사용하며 延伸에 의해 섬유를 부분적으로 整列시킨 결과, 그 방향으로 전도성이 현저히 증가하였다(Fig. 2). 整列된 막을 AsF_5 로 混入하였을 때 실온에서 $2000\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 이상의 전도도가 얻어졌는데, 이러한 결과는 순수한 $(\text{CH})_x$ 에서는 설명하기가 힘든 불순물 혹은 缺陷에 의한 것임을 나타낸다. 금속 상태에서 運搬移動도는 $\sigma = ne\mu$ 의 식으로부터 계산하는데, n 은 運搬體 밀도, e 는 電荷, μ 는 移動性(mobility)이다.

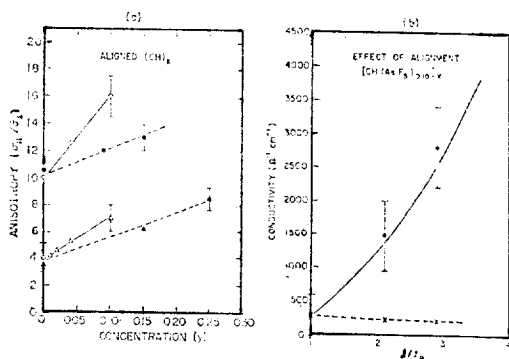


Figure 2. (a) The electrical anisotropy σ_{11}/σ_1 as a function of dopant concentration for partially aligned $(\text{CH})_x$ films at different values of elongation (l/l_0).

l/l_0	Dopant
▲ 2.11	Iodine
△ 2.11	AsF_5
● 2.91	Iodine
○ 2.92	AsF_5

(b) Conductivity of metallic heavily doped $(\text{CH}(\text{AsF}_5)_{0.10})_x$ as a function of elongation (l/l_0): ●, parallel to alignment direction; X, perpendicular to alignment direction.

cis- $[\text{CH}(\text{AsF}_5)_{0.14}]_x$ 에 대해 전도도 $\sigma = 560\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, AsF_5 당 1개의 運搬體를 가정하면 $\mu \approx 1\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 를 얻는데, 이것은 구리와 비교해 볼 때 ($\mu \approx 20\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$) 매우 높다. Fig. 3은 AsF_5 를 混入한 polyacetylene의 온도 의존성을 보여 주고 있다⁶. 이러한 전도도는 polysulfur nitride의 單結晶에서의 전도도와 비교할만하고, (TTF) (TCNQ)-(tetrathiafulvalene)의 가장 좋은 單結晶에서의 전도도보다 훨씬 높으며, 나트륨을 混入한 막과 AsF_5 를 混入한 polyacetylene막을 만들어 π 形, p形 半導體를 얻었을 뿐 아니라, 정

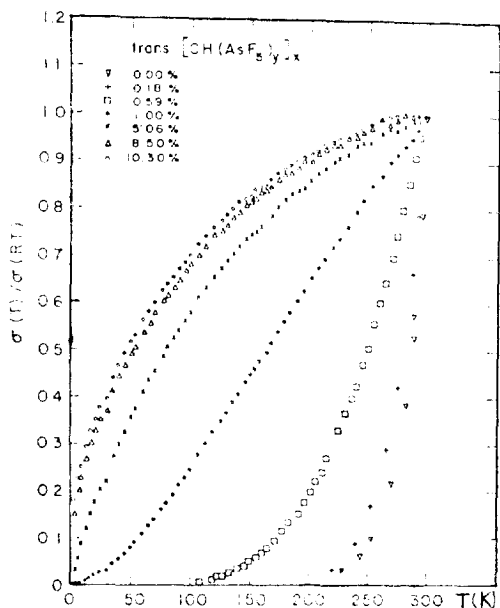


Figure 3. Temperature dependence of the normalized conductivity at several doping levels(AsF_6).

류기로 이용되는 p/n접촉을 얻었음이 보고되었다^{8,11}.

불포화 π 계에서 전자는 고분자 주鎖를 따라 비편在化되어 있으나 번갈기 결합(alternating bond)의 영향과 전자-전자間 쿨롱 반발력의 영향 때문에 들뜬 상태의 스펙트럼에 에너지 간격이 생겨 半導體 거동이 생기는 것으로 여겨진다. 混入된 polyacetylene의 전기적 성질은 실리콘과 유사한데, 混入體의 농도가 증가함에 따라 電氣 電導도는 초기에 급격히 증가하다가 대략 1~2 mole %에서 수백 $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 의 電導도를 갖는데, 이때 系는 半導體에서 금속으로 轉移하며, 더 높은 농도에서는 전기적 성질과 적외선 성질은 금속의 거동을 나타낸다. 그리고 초기의 $(\text{CH})_x$ 는 結晶性임에도 불구하고 混入된 polyacetylene에서 무질서는 중요한 역할을 한다. 앞의 polyacetylene 구조에서 알 수 있듯이 각 탄소는 한개의 수소와 σ 결합하고 sp^2 混成化에 일치하는 두개의 탄소 원자와 결합하여 π 전자는 비편在化될 수 있다. 그러나 이러한 系는 결합바뀔(bond alteration)에 대해 불안정하여 전자 스펙트럼에

에너지 간격을 일으켜 半導體 거동을 가져온다고 생각된다. 또한 鎖間 거리는 $3.6\text{\AA}$ 인 반면 主鎖內의 탄소-탄소 결합길이는 대략 $1.4\text{\AA}$ 이므로, 主鎖를 따라 강한 π 결침(overlap)을 암시하여 일차원적 非等方性 구조임이 기대된다⁶. 에너지 간격은 전자를 분자의 최저 에너지 준위에서 채워진 최고 에너지 준위로 옮기는데 필요한 에너지와 관련이 있으며, 열에너지 간격이 분자에서 π 전자의 수가 증가 함에 따라 감소한다는 사실²¹은 電荷運搬體가 移動 π 電子임을 뒷받침한다.

Polyacetylene은 反覆單位가 간단하여 常磁性을 연구하는데 중요하며 할로젠으로 混入하였을 때 電導도가 증가하는 것으로 보아 混入體의 스핀 중심에 미치는 영향에 대해 ESR로 연구한 결과²², 共鳴에 의해 안정화된 非偏在化된 전자인 상당량의 非共有 電子를 발견하였다.

高分子를 산소에 노출시켰을 때 스핀 밀도가 비가역적으로 증가하였고, 常磁性 中心의 ESR 신호는 산소에 매우 민감하였으며, 시스-트랜스 이성화 온도(150°C)에서 스핀 밀도가 크게 증가하는 사실은 이성화와 常磁性 中心 사이에 밀접한 관계가 있음을 말해준다. 1×10^9 spin/g의 스핀 밀도는 2000개의 이중결합당 한개의 非共有 電子에 상응하며, 시스에서 트랜스로 이성화 할 때 스핀 밀도도 증가하므로, 트랜스 양을 15%→100%로 증가시킬 때 電導도가 3000배 증가하는 것은 시스, 트랜스 고분자에 常磁性 中心이 주요한 기여를 함을 말해 준다²³.

3. Polysulfur Nitride系 高分子

$(\text{SN})_x$ 의 電導도는 結晶 成長조건에 따라 달라지며, 최대 電導도는 실온에서의 電導도의 3~4.7배인데, 전자 散亂에 기여하는 많은 수의 불순물 혹은 缺陷을 나타내며¹⁴, 금속 광택을 가진 單斜結晶系의 $(\text{SN})_x$ 에 대한 분석 결과, S_4N_4 에 남아 있는 용매에 의한 탄소, 수소와 표면 變色과 관련있는 산소를 얻었다.

$(\text{SN})_x$ 의 電導도의 온도 의존성을 나타낸 Fig. 4에서 볼 때, 電導도는 저온에서 증가하기 쉬우며, $20 \sim 22^\circ\text{K}$ 에서 나타난 최대 전도도는 훨씬

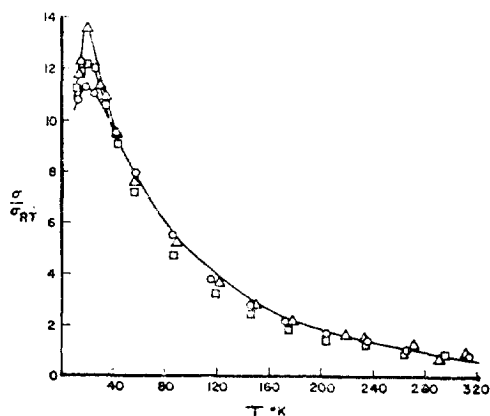


Figure 4. Temperature dependence of the conductivity of $(\text{SN})_x$ crystals, normalized to room temperature. o, vapor grown $\sigma_{RT}=1075\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$; $\square$, solution grown, $\sigma_{RT}=780\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$.

저온으로 이동하기 쉽고, 膜의 저항은 $1500\sim 2000\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ 였으며 比抵抗은 粒子間 抵抗에 의해 조절된다.

실제 제조된 얇은 膜의 온도 의존성은 분말 시료에 관한 초기의 연구와 일치하였는데, 이때

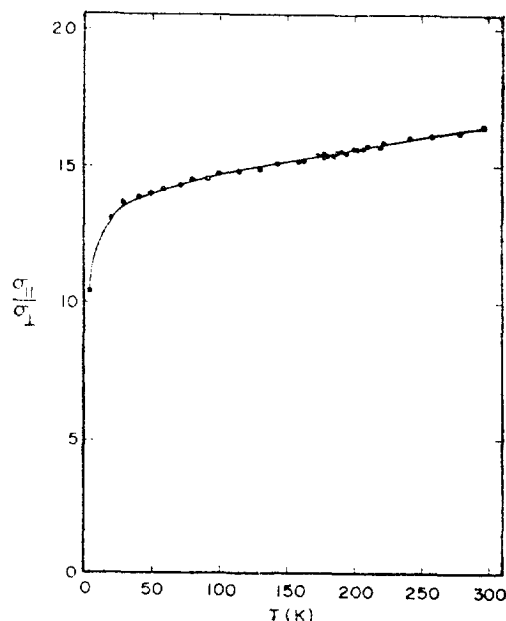


Figure 5. Temperature dependence of the anisotropy of the dc electrical conductivity of an oriented $(\text{SN})_x$ film on Mylar.

粒子間 抵抗이 중요한 역할을 한다³.

$(\text{SN})_x$ 主鎖는 거의 완전히 整列되어 있음에도 불구하고, 電導度의 절대치는 粒子間 接觸에 의해 제한되어 있으며, 電氣的 非等方性 $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ 는 Fig. 5에서와 같이 配向된 膜에서 크다²⁵.

比熱에 온도에 의한 직선적인 寄與가 발견되었으며 格子比熱 寄與를 고려해 볼 때 $(\text{SN})_x$ 가 非等方性 結晶 高分子임을 말한다. Fig. 6에서와 같이 나머지 저항의 1/2이 되는 온도로서 정의되는 超電導 轉移온도 T_c 의 큰 압력 의존성도 $(\text{SN})_x$ 가 非等方性的 삼차원적 결합 성질을 가지고 있기 때문이라고 생각된다²⁶.

$(\text{SN})_x$ 를 브롬으로 처리한 결과 $(\text{SNBr}_{0.4})_x$ 를 얻었는데, 300°K 에서 직류 電導도는 $(\text{SN})_x$ 의 10배가 되었으며, $(\text{SN})_x$ 結晶이 브롬과 반응하면 부피가 크게 증가하는 것은 $(\text{SN})_x$ 主鎖 사이에 브롬이 끼어 든 것(intercalation)으로 여겨졌으나, 格子 파라미터가 변하지 않으므로, 이러한 모델은 부적합하며, $(\text{SNBr}_{0.4})_x$ 는 브롬이

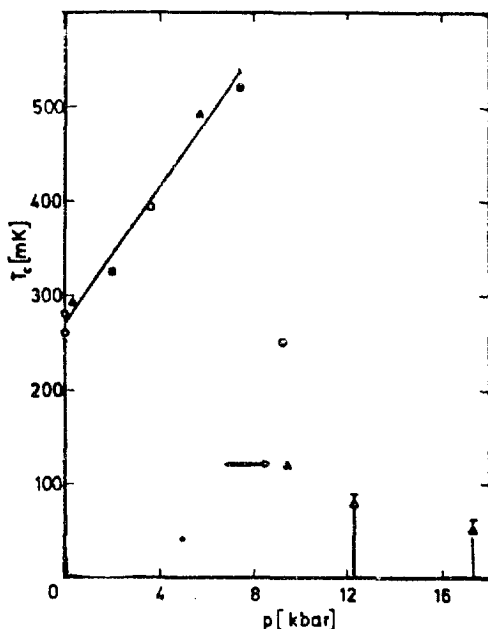


Figure 6. Pressure dependence of the transition temperature T_c . The marked point was measured after releasing the pressure from 17kbar.

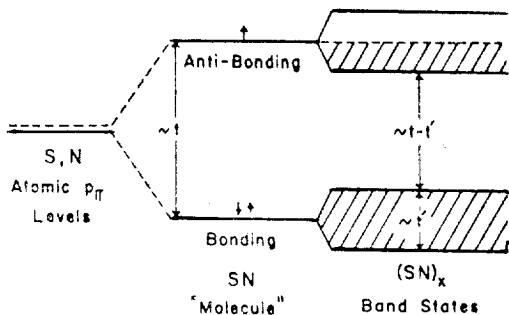


Figure 7. Molecular-orbital energy-level band scheme for $(\text{SN})_x$ which predicts metallic behavior. SN antibonding molecular orbital contains one unpaired spin per "molecule," which forms a half-filled band in $(\text{SN})_x$.

섬유사이에 위치한 $20\sim 30\text{\AA}$ 직경의 $(\text{SN})_x$ 섬유로 이루어져 있다고 여겨지지만²⁷ 아직까지 명확하지 않다.

최대 電導度는 소량의 磁氣的 不純物을 포함한 금속에서 관찰된 것과 유사한데, 이것은 偏在化된 磁氣모멘트를 가지는 不純物 혹은 缺陷에 의한 移動電子의 散亂때문에 생긴다¹⁴.

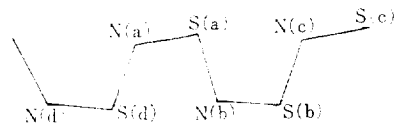
$(\text{SN})_x$ 의 금속 거동을 설명하는 한개의 전자 띠구조(band structure)의 간단한 분자 궤도 모델은 Fig. 7과 같다.

반결합 결합(alternating bond)에 의해 일정한 띠 간격이 도입되며, SN 반결합성 분자궤도(antibonding molecular orbital)는 분자당 한개의 쌍을 이루지 않은 스핀을 포함하고 있고, $(\text{SN})_x$ 에서 반쯤 채워진 띠를 형성한다¹⁴.

$(\text{SN})_x$ 의 구조는 모든 황과 질소 원자 사이에 비등한 결합길이를 가지는 共鳴 混成體인 무한대의 공액분자로 생각되며³, 더구나 황 원자가 껍질(valence shell)이 팽창하여 $d\pi$ 궤도를 수반하는 상호작용에 대한 보다 많은 기회를 제공하였으므로 荷電된 황의 여분의 전자가 主鎖사이의 電荷運搬을 촉진하여 높은 電導度가 생기는 것으로 믿어졌다¹³.

그러나 최근에 電子廻折分析에 의하여 Mikulski 등은 Fig. 8의 결과를 얻었다.

S_2N_2 를 固相重合할 때 얻어지는 생성물에 대



Atoms	Distance (Å)
S(a)-N(a)	1.593 (5)
S(a)-N(b)	1.628 (7)
S(a)-N(c)	2.864 (5)
S(a)-S(b)	2.789 (2)
N(a)-N(b)	2.579 (7)
Angle (°)	
S(a)-N(b)-S(b)	119.9 (4)
S(b)-S(a)-S(d)	105.5 (1)
N(b)-N(a)-N(d)	119.0 (5)
N(a)-S(a)-N(b)	106.2 (2)

Figure 8. Structure and details of $(\text{SN})_x$ obtained from Penn. group crystals.

해 기대했던 것과는 조금 다른데, 固相重合은 單量體에서 高分子로 될 때 格子變數가 매우 작게 변할 때 가능하므로, S_2N_2 와 $(\text{SN})_x$ 의 결합길이 다른 것은 놀랄 만한 것이다.

4. Polyvinylidene Fluoride (PVF₂)

4.1. 壓電氣

가해진 電位에 비례하여 變形이 생기거나(inverse effect) 힘을 가할 때 表面電荷가 생기는 것(direct effect)을 壓電效果라고 한다¹⁷.

Fig. 9²⁸에서 높은 電氣場(E)을 대칭에 관계없이 물질에 가하면 기계적 變形(S)이 電氣場의 제곱에 비례하여 생긴다.

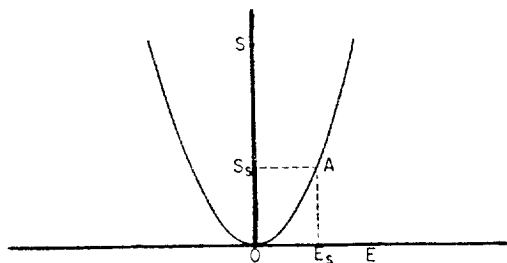


Figure 9. The relation between the mechanical strain S and the electric field E due to electrostriction. In the electret state, A , a spontaneous electric field E_s is accompanied by a spontaneous strain S_s .

高分子 膜이 고온에서 분자의 極性 原子團의 配向, 혹은 空間 電荷(space charge)의 비대칭적 분포에 의해 반영구적인 分極이 생긴다.

이때 高分子 膜은 자발적인 電場, E_s 를 얻으며, 자발적인 變形, S_s 를 수반하여 高分子 膜은 A에 위치한다.

A에서 交互電場을 주면 가해진 電氣場에 직접 관련된 交互變形(alternating strain)이 생기는데 이것을 逆效果라고 한다.

또한 S_s 주위에서 變形S를 변화시키면 電氣場은 E_s 주위에서 변화하는데 이것을 直接效果라고 한다.

4.2. 熱電氣

온도 변화에 의해 電氣모멘트가 생기는 것을 말하며 독특한 極性軸을 갖는 물질에서만 일어날 수 있다¹⁷.

PVF₂는 단위마다 두개의 鎖와 두개의 單量體 단위를 가지는 평면 지그-제그 형태(β)와 두개의 鎖와 네개의 單量體 단위를 가지는 트랜스-고오쉬 형태(α)의 두 구조로 결정화하는데, β 형에서 反復單位の 雙極子는 서로 평행이며 主軸에 수직인 반면, α 형에선 雙極子 모멘트는 主軸과 평행이다.

고온에서 膜을 延伸하면 β 형의 결정화가 증가하여 高分子의 主軸은 應力軸을 따라 배열하여²⁹ PVF₂의 β 結晶은 자발적인 分極을 나타내는데³¹, Murayama^{32, 33}등은 電極에서 주입된 同電荷(homo charge), 혹은 β 形 結晶의 표면이나 缺陷에서 오는 電荷의 분리에 기인한 異電荷(hetero charge)가 원인이라고 하였다.

또한 分極이 電氣場에 의해 바뀐다면 鐵電 高分子(ferroelectric polymer)라고 하는데, 높은 유전상수를 가지는 鐵電 高分子에서 主軸 주위로 분자를 180°회전시켰을 때 자발적인 分極이 반대가 되므로, 이때 높은 에너지 障壁이 생겨서 고온에서만 極化(poling; 강한 직류 電氣場을 가한 뒤 電氣場을 가한 채 시료를 냉각시키는 것을 말함)가 가능하다³¹.

PVF₂에서 極化는 큰 비가역적 分極뿐 아니라, PVF₂에 독특한 熱的으로 가역적인 分極을 야기

하며 다시 가열하면 熱電氣를 일으키고 極化에 의해 形態의 변화가 생긴다²⁹.

空間電荷는 작은 결정이 녹기 시작한 후에 움직이며 壓電氣는 녹는 점 근처에서 일어나는 分極에 기인하고, 延伸 分極된(stretched polarized) PVF₂가 냉각된 후에 熱的으로 생긴 전류는 유리 轉移온도 T_g주위에서 부호와 크기가 바뀐다. 極化 전후에 IR스펙트럼의 가역적인 변화로 β 형의 결정에서 雙極子는 電氣場의 방향을 따라서 整列될 수 있고, T_g이하에서 分極은 현저히 감소하고, T_g이상에서는 延伸된 膜은 높은 電氣場에서 鐵電高分子처럼 거동하여 分極은 非結晶 영역에 의해 강하게 영향을 받는다³⁴.

4.3. 壓電氣, 熱電氣의 根源

예전에는 PVF₂의 壓電氣는 부피 分極(volume polarization) 때문에 생기는 高分子의 結晶영역의 고유의 성질이라고 여겨졌으나, 최근에 Murayama³²와 Pfister^{29, 30}등은 電極으로 부터의 電荷 注入(charge injection)과 結晶영역에서 뒤이어 생기는 트래핑(trapping)이 高分子의 分極을 일으킨다고 보고 하였다.

Sussner와 Dransfeld³⁵는 직류 電氣場에 의해 생긴 강한 分極은 電極으로 부터의 電荷 注入에 기인한다고 생각하고, 이들은 이 모델을 확인하기 위하여 일련의 실험을 하였다.

Fig. 10에서와 같이 각각 6 μ m 두께의 PVF₂ 膜을 덧붙여서 分極시켰는데, 제일 위의 膜과 아래 膜만 알루미늄과 접촉시키고 가운데 膜은 그대로 둔 결과, 양극에 직접 접촉한 膜은 강한 壓電氣를 보인 반면에, 가운데 膜은 약한 效果를 나타내었고, 음극에 접촉한 膜은 전연 壓電效果를 나타내지 않았다.

또 인이 混入된 규소를 사용하여 PVF₂膜의 한쪽 면은 알루미늄과 접촉시키고, 다른 면은 금속과 高分子 사이에 電荷 移動을 막기 위하여 電極과 高分子 사이에 6000Å 두께의 SiO₂ 層의 絕緣體를 사용하여 極化한 결과(Fig. 11), 알루미늄과 접촉한 막의 표면이 양으로 荷電되었을 때만 壓電效果가 관찰되었다.

즉, PVF₂에 不均一한 分極(nonuniform pola-

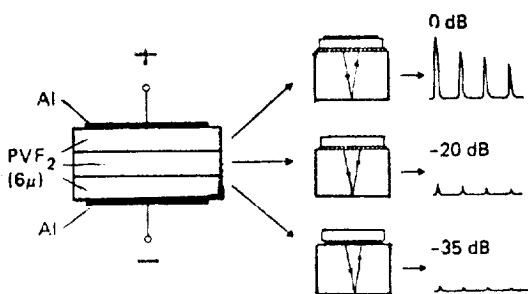


Figure 10. Polarizing three PVF₂ films in a "Sandwich" structure. (Note that a difference of 20 dB corresponds to tenfold reduction of the piezoelectric constant.)

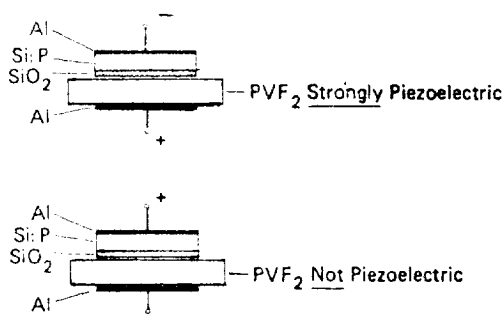


Figure 11. Poling PVF₂ with a "blocking" electrode: A highly P-doped (10²¹/cm³) silicon crystal, thermally oxidized on one side with a 6,000-Å-thick SiO₂ layer is used as a blocking electrode. (Poling conditions: $E_p = 5 \times 10^5$ V/cm, $T_p = 100^\circ\text{C}$, and $t_p = 45$ min.)

rization)이 존재함을 확인하였을 뿐 아니라, 이것은 양극으로 부터의 호일(hole)의注入과高分子에서 뒤이어 생기는 트래핑(trapping)에 기인한다고 하여 중전의 Murayama와 Pfister의 결과를 뒷받침하였다.

또한 Wada와 Hayakawa³⁸는 壓電氣와 熱電氣의 根源에 관해 이론적인 고찰과 실험을 하고, 異成分(heterogeneity; 結晶相과 非結晶相의 혼합물)과 결합된 注入된 電荷, 즉, β 結晶의 分極電荷(polarization charge)에 기인한다고 하여 앞의 결과를 지지하였다.

5. 用 途

高分子에서 실온에서도 금속과 비교할 만한 電

導度를 가진다는 것은 매우 흥미로운 일인데, polyacetylene에 供與體, 受容體를 混入하면 n -形, 혹은 p -形 半導體를 얻을 수 있을 뿐 아니라 p/n 接合을 하면 정류기로서 작용한다.

또한 고유 에너지띠 간격(intrinsic energy band gap)은 대략 1.6 eV인데, 이 값은 태양의 스펙트럼과 잘 맞아서 태양빛을 직접 전기로 전환하는 태양전지에 이용될 수 있다.

Polyacetylene에 여러 변화를 주면 絶緣體 뿐만 아니라, 금속등의 代替物로 사용될 수 있으며 종래의 半導體에 비하여 생산비가 낮고 넓은 면적의 膜을 얻을 수 있다는 장점이 있다⁸.

Polysulfur nitride는 polyacetylene과 유사한 用途를 가진다.

Polyvinylidene fluoride는 기계적 신호를 전기적인 신호로 바꾸는 트랜스듀서(transducer)에 이용할 수 있어, 전축의 픽업, 마이크로폰, 水中聽音機(underwater listening device), 가속도 측정장치등에 쓰일 수 있으며, 逆壓電效果를 이용하여 水中音波 發射機나 초음파 진동의 源泉(source)으로써 사용될 수 있다¹⁷.

또한 熱電效果를 이용하면 PVF₂의 얇은 膜의 열용량이 작아서 感應(response)이 빠르고 기계적 강도가 좋아서⁸ IR에 대한 광학적 探知機(optical detector), 靜電 複寫機(electrostatic copying machine)등에 이용될 수 있을 뿐 아니라 反射率(reflectivity)을 측정하는 데에도 쓰인다³⁸.

또한 單結晶 物質에 비해 얇고 넓은 膜을 얻을 수 있을 뿐 아니라 極化에 의해 膜을 局部的으로 활성을 띠게 할 수 있는 장점이 있다.

6. 結 言

10년전만 하여도 金屬의 舉動을 갖는 高分子(polymeric metal)가 발견되리라고는 누구도 기대하지 않았던 사실에 비추어 볼 때, 高分子系에서 電氣電導性에 관한 무한한 가능성이 있으리라 생각하며 지금까지 언급한 高分子이외에도 電氣電導性을 갖는 高分子이 많이 있는데, 이러한 電導性 高分子의 명확한 구조와 메커니즘의 규명, 電導度를 높이기 위한 延伸이나 結晶成長 기술등의 向上에 관해 많은 연구가 있어

야 할 것으로 생각한다.

인 용 문 헌

1. W. A. Little, *Phys Rev.*, **134**, A1416 (1964).
2. E. P. Goodings *Chem. Soc. Rev.*, **5**, 95 (1976).
3. C. H. Hsu and M. M. Labes, *J. Chem. Phys.*, **61**, 4640 (1974).
4. T. Ito, H. Shirakawa and S. Ikeda, *J. Polymer Sci., Polymer phys. Ed.*, **12**, 11 (1974).
5. T. Ito, H. Shirakawa and S. Ikeda, *J. Polymer Sci., Polymer Chem. Ed.*, **13**, 19 43 (1975).
6. C. K. Chiang, C. R. Fincher, Y. W. Park and A. J. Heeger, *Phys. Rev. Lett.*, **39**, 1098 (1977).
7. H. Shirakawa and S. Ikeda, *J. Polymer Sci., Polymer Letters Ed.*, **17**, 195 (1979).
8. Chemical & Engineering News., 19 (1978).
9. F. P. Burt, *J. Chem. Soc.*, 1171 (1910).
10. M. Goehring, *Q. Rev. Chem. Soc.*, **10**, 437 (1956).
11. C. K. Chiang., S. C. Gau and A. J. Heeger, *Appl. Phys. Lett.*, **33**(1), 18 (1978).
12. M. M. Labes, P. Love and L. F. Nichols, *Chemical Rev.*, **79** (1), 1 (1979).
13. P. L. Kronick and H. Kaye, *J. Chem. Phys.*, **36**, 2235 (1962).
14. V. V. Walatka. Jr and M. M. Labes, *Phys. Rev. Lett.*, **31**, 1139 (1973).
15. H. Kawai, Japan. *J. Appl. Phys.*, **8**, 975 (1969).
16. J. Cohen and S. Edelman, *J. Appl. Phys.*, **42**, 3072 (1971).
17. Charles Susskind, "The Encyclopedia of Electronics" Reinhold p. 605.
18. H. Shirakawa and E. J. Louis, *J. Chem., Soc., Chem. Commun.* **16**, 578 (1977).
19. H. Shirakawa and S. Ikeda, *Polymer J.*, **2**, 231 (1971).
20. R. H. Baughman, S. L. Hsu and A. J. Signorelli, *J. Chem. Phys.*, **68**, 5405 (1978).
21. H. Inokuchi, *Bull. Chem. Soc. Japan.*, **24**, 222 (1951).
22. H. Masahiro, *J. Poly. Sci.*, **51**, issue 156 (1961).
23. A. Snow and P. Brant, *J. Polymer Sci., Polymer Sci., Polymer Letters Ed.*, **17**, 263 (1979).
24. R. L. Greene, P. M. Grant and G. B. Street, *Phys Rev. Lett.*, **34**, 89 (1975).
25. A. A. Bright, M. J. Cohen, A. F. Garito and A. J. Heeger., *Appl. Phys. Lett.*, **26**, 612 (1975).
26. W. H. G. Müller and F. Baumann, *Solid State Commun.*, **25**, 119 (1978).
27. W. D. Gill, W. Bludau and G. B. Street, *Phys., Rev. Lett.*, **38**, 1305 (1977).
28. E. Fukada and K. Nishiyama, Japan. *J. Appl. Phys.*, **11**, 36 (1972).
29. G. Pfister, M. Abkowitz and R. G. Crystal, *J. Appl Phys.*, **44**, 2064 (1973).
30. H. Burkard and G. Pfister, *J. Appl. Phys.*, **45**, 3360 (1974).
31. K. Nakamura and Y. Wada, *J. Polymer Sci. PART A-2*, **9**, 161 (1971).
32. N. Murayama, *J. Polymer phys Ed.*, **13**, 929 (1975).
33. N. Murayama and K. Nakamura, *ibid.*, **13**, 1033 (1975).
34. M. Tamura, S. Hayiwa, S. Matsumoto and N. Ono, *J. Appl. Phys.*, **48**, 513 (1977).
35. H. Sussner and K. Dransfeld, *J. Polymer Sci., Polymer Phys. Ed.*, **16**, 529 (1978).
36. H. Ohigashi, *J. Appl. Phys.*, **47**, 949 (1976).
37. H. Burekard and C. Pfister, *J. Appl. Phys.*, **45**, 3360 (1974).
38. Y. Wada and R. Hayakawa, Japan. *J. Appl. phys.*, **15**, 2041 (1976).
39. A. M. Glass, J. H. McFee and J. G. Bergman, *J. Appl. Phys.*, **42**, 5219 (1971).