

## 비정질 셀레늄 필름의 공명 비행시간 조사

### Time of Flight Resonance Investigation of Amorphous Selenium Films

박지균\*, 박성광\*, 이동길\*, 최장용\*, 안상호\*\*, 은충기\*\*, 남상희\*\*

(J. K. Park\*, S. K. Park\*, D. G. Lee\*, J. Y. Choi\*, S. H. Ahn\*\*, C. K. Eun\*\*, S. H. Nam\*\*)

#### Abstract

We used time-of-flight method to analyze transport properties of charge carrier which is produced by X-ray exposure. It is the research of charge transport and specific property of trap that is performed in direct digital x-ray image receptor. But the results shows us different measurement value of electron and charge drift mobility and it is difficult to precise analysis about charge transport properties and trap mechanism. We measured transit time and drift mobility of charge carriers using time-of-flight method to evaluate the correlation of a-Se thickness change and electric field. We made a testing glass with a-Se of 400  $\mu\text{m}$  thickness on coming glass using thermoevaporation method and built Au electrode with 300nm,  $2\phi$  on both sides of a-Se. As a result of this experiment, electron and hole transit time was each 229.17 $\mu\text{s}$  and 8.73 $\mu\text{s}$  at 10V/ $\mu\text{m}$  electric field and Drift mobility was each 0.00174  $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ , 0.04584  $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ .

**Key Words** : Time of Flight, Transport property, Drift mobility, Transit time

#### 1. 서 론

디지털 X선 검출기 개발에 있어서 핵심 기술인 광도전층으로 이용되는 비정질 셀레늄의 X선 검출 특성에 대한 연구가 국외 여러 의료업체 및 연구소에서 활발한 연구가 진행중이다. 디지털 X선 검출기로서 광도전층의 성능은 누설전류(leakage current), X선 민감도(sensitivity), 선형성(Linearity), 내구성 및 반응속도(response time) 등이다. 지금까지 많은 연구가 되고 있는 비정질 셀레늄은 다른 광도전체 물질(photoconductor materials)들에 비해 낮은 누설전류 및 좋은 선형성을 지닌다. 진공 열증착에 의해 형성된 비정질 셀레늄은 국소 결정화가 발생하며 발생된 정공이

수집 전극으로 표류하는 동안 트랩(Trap) 현상에 의한 전하손실을 야기시킨다. 이러한 물리·화학적 안정성과 전하의 이동시 Trapping 방지를 통한 전기적 신호의 증가 및 Image Lag를 향상시키기 위해서 미량의 불순물(Dopant)를 첨가시킴으로써 수행된다. 본 연구에서는 TOF 법을 이용하여 Transit time( $t_T$ ) 및 Drift mobility( $\mu$ )를 측정하여 인가전 장 및 비정질 셀레늄의 두께에 따른 상관관계를 조사하였다.

#### 2. 실험

##### 1. Transit time 측정 실험

전하이동특성은 검출기의 전하운반자의 수집 효율을 측정하여 구할 수 있고, 또는 TOF(Time Of Flight : TOF)나 Photocurrent Transient 법으로 측정하여 구하기도 한다. 본 연구과제에서는 이러한 전하이동특성을 연구하기 위해 비행시간법

\* : 인제대학교 의용공학과  
(경남 김해시 어방동 607,  
Fax : 055-325-7931  
E-mail : pjik@drwork.ni.inje.ac.kr)  
\*\* : 인제대학교 의료영상연구소

(Time of Flight method)을 이용하여 transit time 측정과 mobility 측정을 통하여 전하이동특성을 분석하였다. 전하운반자 이동특성은 이동도(Mobility :  $\mu$ )와 수명(Life Time :  $\tau$ ) 그리고 인가전장의 곱으로 표현되는 평균자유행로(Mean Free Path)에 의한 Schubweg limitation에 그 이론적 배경을 둔다. 이때 Lifetime( $\tau$ )는 Transit Time( $t_T$ ) 보다 훨씬 크기 때문에 Schubweg Limitation상에서는  $\tau$  대신에  $t_T$ 의 사용이 가능하므로 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\tau = t_T \quad (1)$$

$$\text{Schubweg Distance} = \mu \tau E \gg L \quad (2)$$

Schubweg Limitation이라 함은 물질내의 전자와 정공이 trap 되어지기 전에 전하운반자에 의해 움직일 수 있는 거리를 정의하는 것으로서, 전자 및 정공의 Lifetime은 물질 두께(L)내에서의 전하이동 시간보다 훨씬 긴 Schubweg 값을 가져야한다.

실험에 사용된 시료는 Selenium에 Arsenic(0.3%)과 Chlorine(30 ppm)을 도핑하여 원료 shot를 만들었다. 원료 shot를 열진공증착법을 통하여 ITO Glass 위에 두께 400  $\mu\text{m}$ , 면적 4  $\text{cm}^2$  (2cm  $\times$  2cm)으로써 a-Se layer를 제작하였다.

a-Se layer 위에 반투명 전극인 Au electrode를 열진공증착하여 전극을 형성하였으며, 전하수집을 위해 제작된 시편 양전극을 통해 400~4000 V 전압을 각각 인가하였다. 이때 hole에 대한 Transit time을 측정하기 위한 전압인가 방식은 Au electrode에 positive bias를, electron에 대한 Transit time을 측정을 위한 전압인가는 ITO electrode 측에 positive bias를 인가함으로써 각각의 전하운반자에 대한 Transit time을 측정하였다.

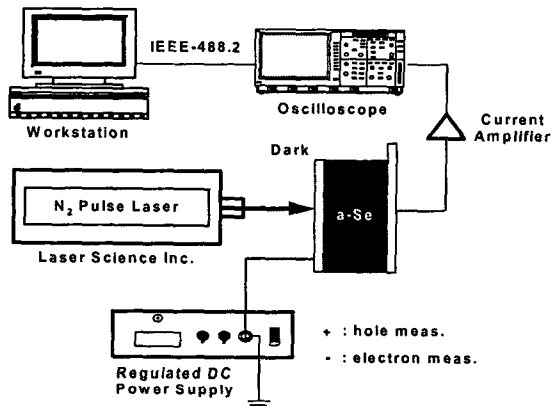


Fig 1. The schematic of TOF experiments

또한 a-Se 내부에서의 전자-정공쌍을 발생시키기 위해 조사하는 광원으로 Pulse laser(350 nm, Pulse duration time 5ns)를 Au electrode에 조사하였다. 이 때 발생하는 Oscilloscope (Lecroy, LC 334MH, USA)를 이용해 Photo Response Signal을 획득함으로써 Transit time을 계산하였다. Fig 1은 비행시간법을 측정하기 위해 구성한 Block Diagram을 보여준다.

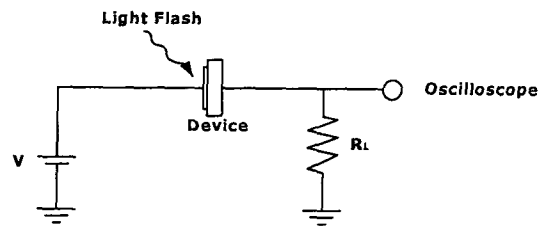


Fig 2. Basic Electric circuits for TOF experiment

## 2. Mobility 계산

Drift mobility는 아래와 같은 관계식을 통해서 구할 수 있다.

$$\mu = \frac{L}{t_T E} = \frac{L^2}{t_T V} \quad [\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}] \quad (3)$$

$$V = E \cdot L : \text{applied bias}$$

광도전체 전하운반자의 drift mobility는 온도에 민감한 값을 가지며 다음과 같은 수식의 형태를 가진다.

$$\mu(E, T) = \mu_0 \exp\left(-\frac{\epsilon_0}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{\beta E}{k_B T}\right)$$

$\epsilon_0$  : activation energy at zero bias

$k_B$  : Boltzman constants

$\beta$  : reduce 파라미터

본 연구에서 사용한 비정질 셀레늄은 상온에서 온도에 의한 의존성이 거의 없다고 보고되고 있으며 따라서 온도의존성에 대한 부분은 고려하지 않았다.

## 3. 결과 및 고찰

### 1. Transit time 측정 결과

TOF(Time of Flight) 측정법을 이용하여 특정한 비정질 셀레늄의 전자와 정공의 Pulse laser 반응 특성은 Fig 3과 4와 같이 나타났다.

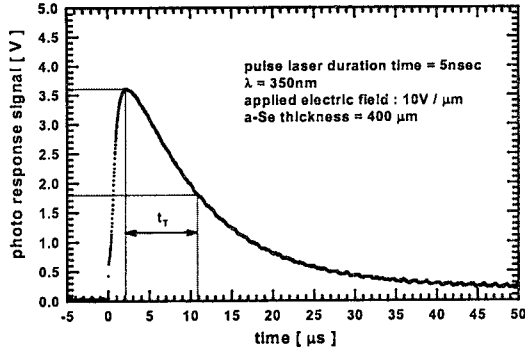


Fig 3. Photo response signal of Hole

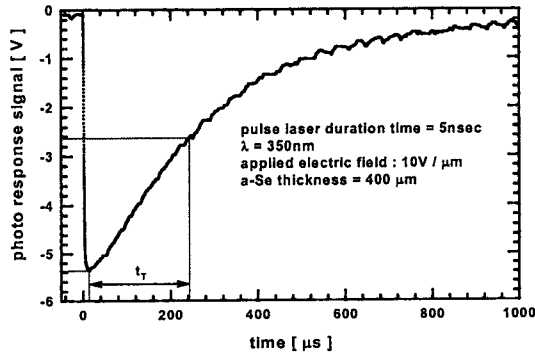


Fig 4. Photo response signal of Electron

Electric Field [V/μm]	Transit time (μs)	
	Hole	Electron
4	24.9688	565.1245
5	19.0840	450.8741
6	16.2088	370.5562
7	13.8562	337.2540
8	10.9794	299.5000
9	9.9339	247.5556
10	8.7267	229.1730

Table 1. Electron and Hole Transit time as a function of Electric Field

Transit time은 이론에서 예측할 수 있듯이 전하수집을 높이기 위해 인가하는 전장에 강한 의존성을 지닌다. Transit time 측정을 위한 TOF 측정 결과에서 파장 350 nm의 Pulse laser에 의한 응답 신호는 가우스형(Gaussian distribution)으로 나타났으며, 인가전장 10 V/μm에서 정공의 경우

8.72 μs, 전자의 경우 229.2 μs 정도의 이동시간을 가지는 것으로 측정되었다. 이러한 결과는 J.A.Rowland와 Kasap 등이 보고한 결과와 유사한 결과를 나타내는 것으로 평가된다. Fig 5는 상위의 결과를 그래프화 한 것이다.

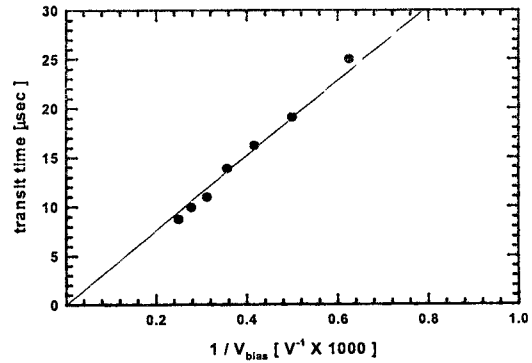


Fig 5. The plot of hole transit time as a function of applied bias

## 2. Mobility 평가

TOF 측정법을 통해 획득한 전하이동시간 ( $t_T$ )를 이용하여 인가전장에 대한 Drift Mobility를 식(5), (6)으로 나타낼 수 있다. Drift mobility는 발생된 전하들이 전장에 의해 수집된 전극으로 이동하는 정도를 나타내며, 아래의 수식에 의해 구해질 수 있다.

$$\mu t_T E = L \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{L}{t_T E} \\ &= \frac{L^2}{t_T V} \end{aligned} \quad (6)$$

$$t_T = 8.7267 \mu s, V = 4000 \text{ volts}, L = 400 \mu m$$

두께 400μm의 시편을 통한 a-Se 내의 Hole Mobility 측정값은 Table 2와 같이 나타났다.

$$\begin{aligned} \mu_{Hole} &= \frac{(4.0 \times 10^{-2})^2 (cm^2)}{8.7267 \times 10^{-6} (sec) \times 4000 (volts)} \quad (7) \\ &= 0.04584 cm^2/V \cdot sec \end{aligned}$$

Table 2에서 나타나듯 전자와 정공의 인가전장의 의존성은 크게 나타나지 않았음을 알 수 있고, 인가전장 10 V/μm에서 다소 큰 값인 0.049 cm<sup>2</sup>/

V · sec 정도의 값을 나타내었다.

이는 Reference(Kasap, 1991)상에서의 비정질 셀레늄의 Hole Drift Mobility인 아래의 값과 다소 차이를 보였다.

$$\mu_{Hole} = 0.13 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec} \text{ (Kasap, 1991)}$$

측정 결과가 Reference(Kasap, 1991)상에서 구한 결과와 다른 이유는 Drift Mobility에 영향을 주는 인수로서 doping 물질의 종류와 양, 그리고 Drift Mobility를 측정하는 물질의 온도 의존성에서 비롯된다. 그러나 비정질 셀레늄의 경우 기존 문헌 및 여러 온도에서의 측정 결과 다른 반도체 소자와는 다르게 온도에 따른 의존성이 거의 없는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서 제작한 a-Se 시편의 Mobility값과 Reference data와의 값 차이는 doping 양에서 기인한 것으로 해석된다.

Fig 6은 인가전장에 따른 정공의 이동도( $\mu_{hole}$ )에 대한 그래프이다.

Electric Field [V/ $\mu\text{m}$ ]	Mobility [ $\text{cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$ ]	
	Hole	Electron
4	0.04005	0.00177
5	0.04192	0.00178
6	0.04113	0.00179
7	0.04124	0.00169
8	0.04554	0.00167
9	0.04474	0.00179
10	0.04584	0.00174

Table 2. Electron and Hole Drift Mobility as a function of Electric Field

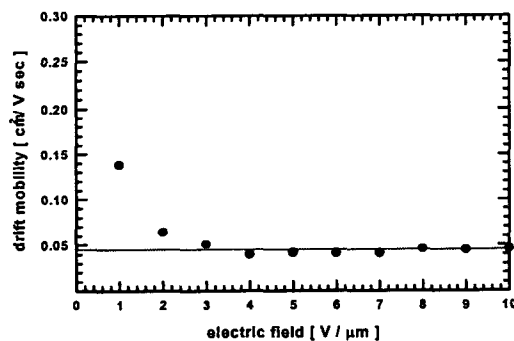


Fig 6. The plot of hole drift mobility as a function of applied electric field.

Fig 7에서는 인가전장에 따른 전자의 이동도

( $\mu_{electron}$ )에 대한 그래프를 보여주고 있다.

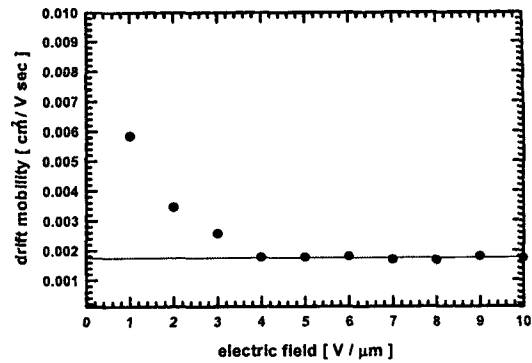


Fig 7. The plot of electron drift mobility as a function of applied electric field

#### 4. 결론

본 연구에서는 현재 디지털 방사선 장치의 검출 물질로 널리 사용되고 있는 비정질 셀레늄 화합물의 전하이동특성을 분석하기 위한 방법으로 TOF 측정법을 이용하여 인가전장에 대한 전자와 정공의 전하이동시간을 측정하였으며, 이를 이용하여 전자와 정공의 이동도를 산출할 수 있었다.

향후 이러한 측정자료는 디지털 방사선 장치의 검출물질인 비정질 셀레늄의 물리·전기적 특성을 최적화하여 우수한 검출능을 가진 검출물질 적용을 위한 자료로 충분할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 지원(M1-0104-00-0149)에 의하여 수행되었습니다.

#### Reference

- [1] J. W. Boag, Xeroradiography, Phys. Med. Biol. 1973; 18:3-37
- [2] S. O. Kasap, Photoreceptors : The Selenium Alloys : Arthur S. Diamond : Marcel Dekker, 1991:329-372
- [3] C.Haugen, S.O.Kasap, And J Rowlands. Charge Transport And Electron-Hole Pair Creation Energy In Stabilized a-Se X-Ray Photoconductors. 32(1999) 200-207