

논문 2005-42SD-12-2

PN접합 SCR내 전하주입을 통한 정전기전지 제작 가능성에 관한 연구

(A Study on the Feasibility of the Electrostatic Cell)

강 희 중*

(Kang, Hee-Jong)

요 약

본 연구는 물리전지의 하나로써 정전기 전지를 제안한 것으로 정전기를 활용한 전지의 제작 가능성을 정전기 전지의 구조 제안, 동작원리에 대한 설명 및 특성변수의 계산을 통해 제시하였다. 구체적으로는 소자 외부에서 정전발전기를 통해 발생시킨 전하를 PN접합의 SCR내에 주입하고 SCR내의 내부전계를 이용하여 주입된 전하를 이동시켜 전지의 역할을 할 수 있도록 한 것이다. 계산 결과, 정전기 전지 소자의 단면적을 0.0001cm²로 하고 정전발전기를 이용하여 발생시킨 약 10¹¹개의 전하를 주입했을 때, 0.15mA의 전류가 발생하여 전지로서의 가능성이 있음을 보였다.

Abstract

This paper describes the feasibility of the electrostatic cell using carrier injection in SCR(space charge region) of PN junction. It compares the principle of the electrostatic cell's operation with the solar cell's. According to the experiment and calculation of this paper, when the cross section area of the device is 0.0001cm², the device current becomes 0.15mA which is practically high enough. This paper proposes that the electrostatic cell can be used as a physical battery.

Keywords: Electrostatic Cell, PN접합, SCR, 물리전지, 정전기전지

I. 서 론

전지는 에너지의 변환 방법에 따라 물리전지와 화학전지로 크게 양분되고 있다^[1].

물리전지는 물리적인 방법에 의해 빛, 열 등을 전기 에너지로 직접 변환시키는 반면, 화학전지는 물질의 화학반응을 이용하여 전기에너지를 생산한다.

물리전지에는 태양전지, 열기전력전지 등이 있는데, 태양전지는 PN접합의 공간전하영역(SCR)에 광이 입사될 때 생성되는 전자-정공쌍이 내부전계에 의해 이동하면서 기전력이 발생하도록 하여 전력을 얻는 전지이며, 열기전력전지는 p형과 n형 반도체의 한끝을 금속판으로 접합하고 그 접합부를 가열해 p형쪽에는 플러스(+), n형쪽에는 마이너스(-)의 전기가 발생하도록 한 것으로 대표적인 열기전력전지에는 원자력전지가 있다.

본 논문은 물리전지의 하나로써 정전기 전지의 제작

표 1. 전지의 분류

Table 1. Classification of batteries.

전지 분류	전지 이름	설 명
물리 전지	태양 전지	반도체의 PN접합을 이용하여 광전효과에 의해 태양광(光) 에너지를 직접 에너지로 변환하는 전지
	열기 전력 전지	p형 반도체와 n형 반도체의 한끝을 금속판으로 접합한 열전대(많은 종류가 있으나 일반적으로 선상의 도전 재료)로 접합부를 가열해 고온으로 하면 제벡(Zeebeck)효과에 의해 p형의 끝에는 플러스, n형의 끝에는 마이너스의 전기를 띠게 되는데 이와 같은 기능을 이용한 전지
화학 전지	1차 전지	화학 에너지를 전기 에너지로 1회 변환시키고 충전이 되지 않는 전지
	2차 전지	화학에너지와 전기에너지간의 상호변환이 가역적이어서 충전과 방전을 반복할 수 있는 전지
	연료 전지	연료(천연 Gas, Methanol, 석탄)의 화학에너지를 전기 에너지로 직접 변환하는 화학발전 전지. 외부에서 반응물이 공급되고 생성물이 외부로 배출됨

* 정희원, 과학기술정책연구원, 혁신정책연구센터
(Center for Innovation Policy, Science & Technology Policy Institute)

접수일자: 2005년6월15일, 수정완료일: 2005년11월28일

가능성을 제안한 것으로 구체적으로는 PN접합의 공간 전하영역(SCR)내에 전하를 주입하는 방법을 통하여 정전기를 이용한 전지의 제작이 가능함을 제안한 것이다.

정전기 전지의 제작 가능성에 대한 연구는 정전하를 이용하여 전력을 생산하려는 시도라는 의미 외에도, 전자기력에 의한 전력생산이 주로 회전운동에 의해서 이루어지는데 반해, 정전기 전지는 회전운동은 물론 불규칙한 마찰운동, 유체의 이동, 박리 등 생활속에서 나타나는 다양한 마찰을 이용하여 다양한 형태로 발전할 수 있다는데도 의미가 있다.

또한 소자의 크기를 마이크로화 할 경우 전자기력을 이용한 발전과 비교하여 경쟁력을 확보할 수 있다는 데에도 큰 의미가 있을 것으로 판단된다^[2].

II. 본 문

2.1 정전기 전지의 구조 및 동작원리

태양전지는 PN접합의 SCR내에 태양광을 입사하여 광전효과에 의한 전자-정공쌍을 발생시키고, 이들을 PN접합 내부에 형성되어 있는 전계를 이용하여 이동시키므로써 기전력을 얻는다[그림 1 참조].

반면, 본 연구에서 제안하는 정전기 전지는 외부에서 정전발전기에 의해 전하를 발생시켜^[3] PN접합의 SCR내에 주입하고 이들을 PN접합 내부에 형성되어 있는 전계를 이용하여 이동시키므로써 기전력을 얻는 것을 주요 착안점으로 한다[그림 2 참조].

정전기전지의 구조 및 동작원리를 개괄적으로 설명하면 다음과 같다.

- ① 그림 2와같이 PN접합 구조를 형성시킨다.
- ② PN접합의 경계면 주위에 SCR이 형성되고 SCR내에 내부전계(E)가 형성된다.

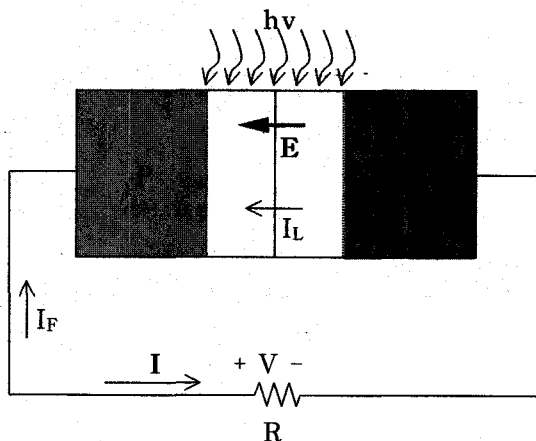


그림 1. 태양전지의 개요도
Fig. 1. Schematic of a pn junction solar cell.

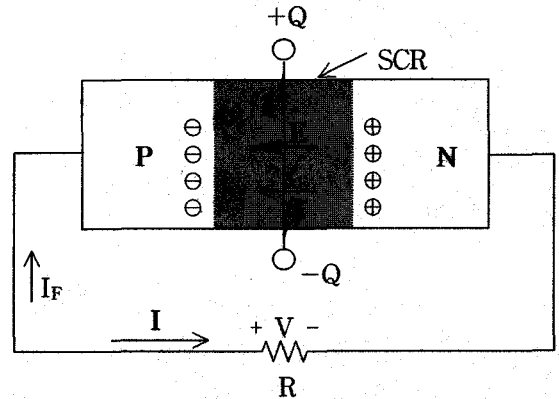


그림 2. 정전기 전지의 개요도
Fig. 2. Schematic of a electrostatic cell.

- ③ 외부에서 정전발전기를 통해 전하를 발생시킨다^[3].
- ④ 발생된 전하를 SCR에 접촉시킨다.
- ⑤ 농도차에 의해 전하들이 SCR내로 확산된다.
- ⑥ 확산된 전하들이 PN접합 내부전계(E)에 의해 이동하여 전류(I_E)가 발생한다.
- ⑦ 부하(R)에 의한 전압강하(V)가 발생된다.
- ⑧ 부하전압(V)에 의한 순방향 전류(I_F)가 생성된다.
- ⑨ 총 전류(I)가 정전기에 의한 전류(I_E)와 순방향 전류(I_F)의 차로 나타난다.

2.2 정전기 전지의 특성변수

(1) 전류(I)

전류(I)는 정전기에 의한 전류(I_E)와 순방향 전류(I_F)의 차로 나타난다.

$$I = I_E - I_F = I_E - I_S \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

전류밀도 J_E 는 conductivity의 변화율과 전계의 곱으로 표현될 수 있으며, 전계(E), SCR폭(x_n, x_p) 및 Built-in 전압(V_{bi})은 다음에 전개된 식들을 통해 계산할 수 있다.

$$J_E = \Delta\sigma E = en(\mu_n + \mu_p)E \quad (2)$$

$$E = \frac{-eN_d x_n}{\epsilon_s} \quad (3)$$

$$x_n = \left\{ \frac{2\epsilon_s V_{bi}}{e} \left[\frac{N_a}{N_d} \right] \left[\frac{1}{N_a + N_d} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$x_p = \left\{ \frac{2\epsilon_s V_{bi}}{e} \left[\frac{N_d}{N_a} \right] \left[\frac{1}{N_a + N_d} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$V_{bi} = V_{th} \ln \left[\frac{N_a N_d}{n_i^2} \right] \quad (6)$$

여기서 전류 I_E 는 다음과 같이 구해진다.

$$I_E = J_E \cdot A \quad (7)$$

$$= en(\mu_n + \mu_p)AE$$

전류밀도 J_S 는 다음과 같다.

$$J_S = \frac{eD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \quad (8)$$

$$= en_i^2 \left(\frac{D_n}{L_n N_a} + \frac{D_p}{L_p N_d} \right)$$

따라서, 전류 I_S 는 다음과 같이 구해진다.

$$I_S = J_S \cdot A \quad (9)$$

$$= en_i^2 \left(\frac{D_n}{L_n N_a} + \frac{D_p}{L_p N_d} \right) A$$

(2) 개방회로 전압(V_{oc})

개방회로(Open Circuit) 상태에서는 전류(I)가 0이 되므로 식(1)이 식(10)과 같이 전개되어 V_{oc} 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I = 0 = I_E - I_S \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right]$$

$$I_E = I_S \left[\exp\left(\frac{eV_{oc}}{kT}\right) - 1 \right] \quad (10)$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{e} \left(1 + \frac{I_E}{I_S} \right)$$

$$= V_{th} \left(1 + \frac{I_E}{I_S} \right)$$

(3) 단락회로 전류(I_{sc})

단락회로(Short Circuit) 상태에서는 부하전압(V)이 0이 되므로 식(1)은 다음과 같이 정리된다.

$$I = I_E - I_S \left[\exp\left(\frac{0}{kT}\right) - 1 \right] \quad (11)$$

$$= I_E$$

(4) 전력(P)

정전기 전지의 전력 P 는 다음과 같이 계산된다.

$$P = IV \quad (12)$$

$$= I_E V - I_S \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] V$$

2.3 특성변수의 계산

(1) 역전압 포화전류(I_S)

이상적인 역전압 포화전류는 식(9) 및 표 2의 변수값들을 이용하여 구할 수 있는데, 표 2의 값을 활용할 경우, I_S 는 $3.6 \times 10^{-15} A$ 이었다.

표 2. 이상적인 역전압 포화전류의 계산
Table 2. Ideal reverse-bias saturation current.

변수명	변수	값	단위
진성캐리어농도	n_i	1.50E+10	cm ⁻³
소수캐리어(전자) 확산계수	D_n	25	cm ² /sec
소수캐리어(정공) 확산계수	D_p	10	cm ² /sec
소수캐리어(전자) 확산길이	L_n	35.4	um
소수캐리어(정공) 확산길이	L_p	10	um
억셉터 불순물 농도	N_a	5E+18	cm ⁻³
도너 불순물 농도	N_d	1.00E+16	cm ⁻³
전류밀도	J_s	3.61E-11	A/cm ²
소자 단면적	A	0.0001	cm ²
이상적인 역전압 포화전류	I_S	3.61E-15	A

(2) SCR내의 최대전계(E_{max})

SCR내의 전계(E)는 식(3), (4), (6)과 표 2, 3의 변수값을 통해 구할 수 있으며 공간전하영역안에서 약 50,000V/cm가 인가되는 것으로 나타났다.

표 3. SCR내의 전계 계산
Table 3. Calculation of E_{max} in the SCR.

변수명	변수	값	단위
열전압	V_{th}	0.0259	V
반도체의 유전율	ϵ_s	1.04E-12	F/cm ²
n영역 SCR 폭	x_n	3.32E-05	cm
p영역 SCR 폭	x_p	6.65E-08	cm
Built-in 전위장벽	V_{bi}	8.56E-01	V
최대 전계	E_{max}	5.14E+04	V/cm

(3) 정전기에 의한 전류(I_E)

정전기에 의해 발생하는 전류는 표 4의 변수값과 식(7)를 이용하여 계산할 수 있으며, 소자의 단면적을

0.0001cm²로 하고, 전자의 이동도를 1350cm²/V-sec, 정공의 이동도를 480cm²/V-sec로 할 경우 0.15mA가 발생하는 것으로 계산되었다.

공간전하영역에 주입할 캐리어의 농도(n)는 정전발전을 통해 결정되는데, 실험결과 초당 약 1.25×10^{11} 개(20nC)이상을 쉽게 확보할 수 있었다^[3].

정전발전에서 발생된 전하가 이상적으로 공간전하영역으로 주입되어 전류(I_E)에 기여할 경우, 전류밀도 J_E 는 1.5A/cm²로 계산되었는데 이는 photo current density가 약 15mA/cm²~25mA/cm² 수준인 것에 비하면 매우 큰 값인 것으로 판단된다^[4,5].

표 4. 정전기에 의한 전류의 계산
Table 4. Calculation of I_E by electrostatic.

변수명	변수	값	단위
전하량	e	1.60E-19	C
캐리어 농도	n	1.00E+11	cm ⁻³
전자의 이동도	μ_n	1350	cm ² /V-sec
정공의 이동도	μ_p	480	cm ² /V-sec
SCR내의 전계	E	5.14E+04	V/cm
전류밀도	J_E	1.50E+00	A/cm ²
소자 단면적	A	0.0001	cm ²
정전기에 의한 전류	I_E	1.50E-04	A

(4) 전류(I) 등 주요 특성변수들(I_{sc} , V_{oc} , P)

총전류는 역전압 포화전류가 대단히 적기 때문에 정전기에 의한 전류(I_E)와 거의 같은 수준인 0.15mA으로 나타났다.

단락회로 전류(I_{sc})는 식(11), 식(7) 및 표 4를 활용하여 계산한 결과 0.15mA로 나타났고, 개방회로 전압(V_{oc})은 식(10) 및 표2, 4를 활용하여 0.63V로 계산되었다.

전력(P)은 fill factor를 0.8로 계산할 경우 7.62×10^{-5} W로 나타났는데 소자의 단면적 또는 소자의 개수를 조정하면 충분한 전력을 활용할 수 있을 것으로 기대된다^[6].

표 5. 주요 변수 및 변수 값
Table 5. The main results.

변수명	변수	값	단위
총전류	I	1.50E-04	A
개방회로 전압	V_{oc}	6.33E-01	V
단락회로 전류	I_{sc}	1.50E-04	I
전력(fill factor:0.8일 때)	P	7.62E-05	W

III. 결 론

본 연구는 물리전지의 하나로써 정전기 전지를 제안한 것으로 정전기를 활용한 전지의 제작 가능성을 정전기 전지의 구조 제안, 동작원리에 대한 설명 및 특성변수의 계산을 통해 제시하였다.

구체적으로는 소자 외부에서 정전발전을 통해 발생시킨 전하를 PN접합의 SCR내에 주입하고 SCR내의 내부전계를 이용하여 주입된 전하를 이동시켜 전지의 역할을 할 수 있도록 한 것이다.

정전기 전지 소자의 단면적을 0.0001cm²로 하고 정전발전을 이용하여 발생시킨 약 10^{11} 개의 전하를 주입했을 때, 0.15mA의 전류가 발생하여 전지로서의 가능성이 있음을 보였다.

향후 소자의 설계 및 제작을 통한 실험 및 MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems)와의 연계 등 후속연구를 진행하면 보다 유용한 결과를 얻을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 江田 信夫, "전지의 발전과 신기술의 트렌드", 월간전자기술, p33, 2000.6
- [2] 홍순관 외, "Micromachining 기법으로 제작된 정전형 마이크로모터의 기술동향", 전기학회지 42권 11호, 1993.11
- [3] 강희종, "MEMS 정전발전기 개발을 위한 선행연구", 2005 SOC 학술대회, p16, 2005.
- [4] Donald A. Neamen, Semiconductor Physics and Devices, IRWIN, Inc., 1992.
- [5] Jasprit singh, Semiconductor Devices, McGraw - Hill, Inc., 1994.

저 자 소 개



강희종(정회원)

1991년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.

1996년 국민대학교 전자공학과 석사 졸업.

2001년 국민대학교 전자공학과 박사 수료.

2004년~현재 과학기술정책연구원

<주관심분야 : 반도체소자 시뮬레이션 및 공정>