

논문 98-7-1-03

## a-Se 광도전막을 이용한 HARP 촬상관의 제작 및 특성

박옥동\*, 김기완\*\*, Misao Kubota\*\*\*, Tsutomu Kato\*\*\*, Shiro Suzuki\*\*\*,  
and Kenkichi Tanioka\*\*\*Fabrication and Characteristics of HARP Image Pickup Tube Using  
a-Se Photoconductive FilmWug-Dong Park\*, Ki-Wan Kim\*\*, Misao Kubota\*\*\*, Tsutomu Kato\*\*\*,  
Shiro Suzuki\*\*\*, and Kenkichi Tanioka\*\*\*

## 요 약

4  $\mu\text{m}$  두께의 a-Se 광도전막을 이용한 HARP (high-gain avalanche rushing amorphous photoconductor) 촬상관을 제작하고 그 특성을 조사하였다. 타겟전압이 360 V 이상으로 증가함에 따라 촬상관의 신호전류는 급격하게 증가하였으나 암전류는 490 V의 전압까지 3.2 nA 이하로 억제되었다.  $1.1 \times 10^6$  V/cm의 전기장에서 440 nm의 파장에 대한 타겟의 양자효율은 약 4.3으로 나타났다. 또한 촬상관의 진폭응답은 800 TV line에서 7.5 %였으며 잔상은 3.4%였다.

## Abstract

A HARP (high-gain avalanche rushing amorphous photoconductor) image pickup tube using 4  $\mu\text{m}$  thick a-Se photoconductive film was fabricated and its characteristics were investigated. When the target voltage was increased more than 360 V, the signal current increases rapidly but the dark current of the tube was suppressed less than 3.2 nA up to the voltage of 490 V. And the quantum efficiency of the target was about 4.3 at the electric field of  $1.1 \times 10^6$  V/cm and the wavelength of 440 nm. Also the amplitude response of the HARP tube was 7.5% at 800 TV lines, and the decay lag was 3.4%.

## I. 서 론

광학상을 전기적 신호로 변환시키는 촬상관은 TV

카메라의 핵심소자로서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 촬상관용 광도전형 타겟의 재료로는 a-Se<sup>[1,3]</sup>, a-Si:H<sup>[4,5]</sup> 및 PbO<sup>[6,7]</sup> 등이 널리 이용되어 왔다. 그러나 이러한 재료를 이용한 종래의 Saticon과 Plumbicon 뿐만 아니라 CCD 칼라 카메라 등은 좋은 화질을 얻을 수 있지만 조도가 20 lux 이하일 경우는 사용할 수 없는 단점이 있다.

한편 촬상관용 광도전형 타겟은 크게 주입형 (injection

\* 동양대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Engineering, Dongyang University)

\*\* 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\*\* NHK 방송기술연구소 (NHK Science and Technical Research Laboratories)

<접수일자 : 1997년 12월 4일>

type)과 차단형 (blocking type)으로 나눌 수 있으며 광도전형 활상관의 감도는 타겟의 양자효율에 의존한다.<sup>[8-10]</sup> 주입형 타겟은 외부전극으로부터 타겟에 주입되는 캐리어에 의해 1 이상의 양자효율을 얻을 수 있으나 타겟의 암전류가 인가전압에 크게 의존하고 잔상이 무시할 수 없을 정도로 높은 단점이 있다. 또한 차단형 타겟은 잔상과 암전류가 낮아 좋은 화질을 얻을 수 있지만 1 이하의 낮은 양자효율에 의해 최대감도가 제한된다.

1987년 NHK연구소에서는 광도전 타겟에서 일어나는 avalanche multiplication 현상을 이용하여 차단형 타겟의 이론적인 한계 이상의 양자효율을 얻게 됨으로써 감도가 매우 높은 HARP 활상관을 개발하였다.<sup>[11]</sup> 또한 HARP 활상관은 기존의 Saticon 활상관 등에 비해 고감도, 고해상도 및 고품질을 얻을 수 있으므로 일반 방송제작, 자연관찰, 재난감시, 해양개발, 천체관측, 의료분야 및 계측산업에 이르기까지 다양한 분야에 걸쳐 널리 응용될 수 있다. 본 연구에서는 a-Se 광도전막을 이용한 고감도 HARP 활상관을 제작하고 전류-전압, 진폭 및 잔상특성 등을 조사하였다.

## II. HARP 활상관의 동작원리

최초의 실제적인 광도전형 활상관은 1949년 RCA에서 개발된 Vidicon<sup>[12]</sup>으로 저가격의 TV 카메라에 널리 이용되고 있다. Vidicon은 기본적으로 광도전형 타겟, 집속 및 편향코일, 그리고 전자총으로 이루어지며 HARP 활상관의 구조는 Vidicon과 유사하다. 그림 1은 광도전 타겟층에서 발생하는 avalanche multiplication에 의한 내부증폭원리를 이용한 HARP 활상관의 동작원리를 나타낸 것이다.<sup>[13,14]</sup> 카메라 렌즈를 통해 빛이 입사되면 타겟의 광도전막에서 광학적 상에 대응하는 전하가 발생되고, 이들 전하는 주사전자빔에 의해 화상 신호로써 타겟으로부터 외부로 전달된다.<sup>[8]</sup> Saticon 등과 같은 종래의 활상관에서는 한 개의 입사광자는 단 한 개의 전자-정공쌍을 생성한다. 그러나 HARP 활상관에서는 타겟층에 가해진 강한 전기장에 의해 정공이 주사빔쪽으로 가속되어 타겟내의 원자와 충돌하고 그들을 이온화시켜 새로운 전자-정공쌍을 생성시킨다. 그러므로 HARP 활상관에서는 avalanche multiplication에 의해 한 개의 입사광자에 대해서 많은 양의 캐리어가 생성된다.<sup>[14-16]</sup>

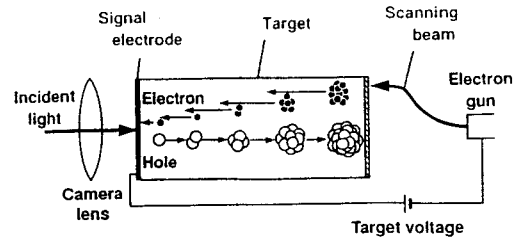


그림 1. HARP 활상관의 동작원리

Fig. 1. Operating principle of the HARP tube.

만약 a-Se막내에서의 전기장이 일정하고 광전하가 광입사 계면에서 생성되는 이상적인 경우 전하증배계수  $M$ 은 막두께  $L$ (cm), 전자의 이온화율  $\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) 및 정공의 이온화율  $\beta$ ( $\text{cm}^{-1}$ )에 의해

$$M = \frac{(\beta - \alpha) \exp[(\beta - \alpha)L]}{\beta - \alpha \exp[(\beta - \alpha)L]} \quad (1)$$

로 주어진다.<sup>[14,15]</sup> 여기서,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 타겟의 전기장  $E$ (V/cm)에 의해 각각

$$\alpha = 3.8 \times 10^7 \exp(-1.5 \times 10^7/E) \quad (2)$$

$$\beta = 1.7 \times 10^7 \exp(-9.3 \times 10^6/E) \quad (3)$$

로 표현된다. 일반적으로 a-Se에서는  $\beta$ 가  $\alpha$ 에 비해 약 2배 정도 크며 그 비는 전기장이 증가할수록 작아진다.<sup>[15]</sup>

## III. 실험 및 측정

광도전막이 차단층 사이에 샌드위치되어 있는 차단형 타겟의 구조는 그림 2와 같다. 활상관의 광도전 타겟을 제조하기 위해서 먼저 직경 2/3 인치의 유리기판 (Corning Co.)을 초음파세척하고 증류수로 세척한 후 건조시켰다. 이 기판위에 직경 3", 두께 5 mm인 ITO 타겟 (99.99 %, High Purity Chemicals Lab.)을  $7 \times 10^{-7}$  Torr의 진공중에서 DC 스퍼터 (Shibaura Co., CFS-4ES)를 이용하여 300 Å 두께의 ITO 전극을 형성시켰다. 다음으로 ITO 신호전극으로부터 광도전막내로 정공의 주입을 차단시키기 위한 정공차단막으로 두께가 각각 100 Å인  $\text{GeO}_2$ 와  $\text{CeO}_2$ 를 연속으로 진공증착시켰다. HARP 타겟의 광도전막으로는 a-Se를 4 $\mu\text{m}$

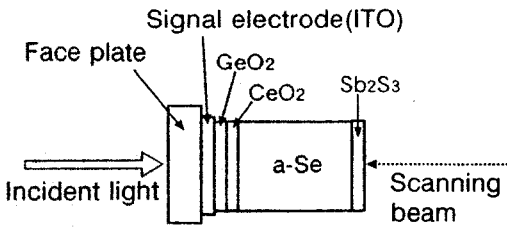


그림 2. a-Se 차단형 타겟의 구조.

Fig. 2. Schematic structure of the a-Se blocking type target.

의 두께로 진공증착시켰으며 주사전자빔으로부터 전자의 주입을 차단하고 2차 전자의 방출을 막기 위한 전자 차단막으로  $Sb_2S_3$ 을  $0.93 \mu m$  두께로 증착시켜 광도전 타겟을 완성하였다. 그 후 In ring을 이용하여 광도전 타겟과 전자총을 결합시켜 촬상관을 제작하였다. 다음으로 촬상관내의 공기를 빼내고 3 V에서 3시간 정도 aging시킨 후 촬상관의 특성을 측정하였다. 촬상관의 전기적 특성은 digital picoammeter (Toa Electronics Ltd., AM-271A)와 waveform monitor, video monitor 등을 이용하여 광도전 타겟의 전류-전압, 진폭 및 잔상특성을 조사하였다. 또한 광도전타겟의 양자효율은 양자효율 측정장치 (Optical Science Co., OSMO-504DT), optical processor (Optical Science Co., PROP-3N) 및 xenon lamp power supply (Optical Science Co., XC-1000) 등을 이용하여 측정하였다.

#### IV. 결과 및 고찰

a-Se을 이용한 HARP 촬상관에 청색광을 입사시켰을 때 타겟전압에 대한 신호전류와 암전류는 그림 3과 같다. 타겟전압이 증가함에 따라 신호전류는 증가하다가 포화되었으며 만약 타겟전압을 360 V 이상으로 더욱 높게 증가시키면 신호전류는 다시 급격하게 증가하였다. 한편 암전류는 490 V의 타겟전압까지 3.2 nA 이하로 억제되었다. 타겟전압이 440 V일 때 즉,  $1.1 \times 10^6$  V/cm의 높은 전기장에서 HARP 타겟의 신호전류에 대한 암전류의 비는 45.2 dB로 나타났다.

HARP 촬상관의 양자효율은 그림 4와 같다. HARP 촬상관에서는 타겟의 강한 전기장에 의해 정공이 주사빔쪽으로 가속되어 타겟내의 원자와 충돌하고 그들을 이온화시켜 새로운 전자-정공쌍을 생성시키므로 각 광

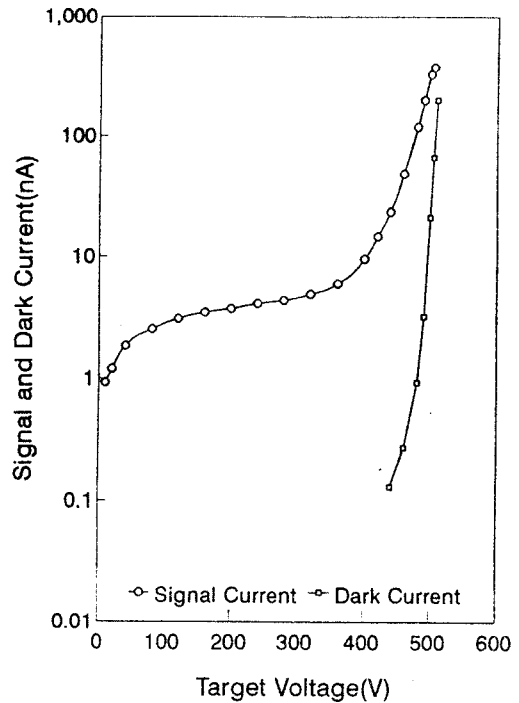


그림 3. HARP 촬상관의 전류-전압특성.

Fig. 3. Current-voltage characteristics of the HARP tube.

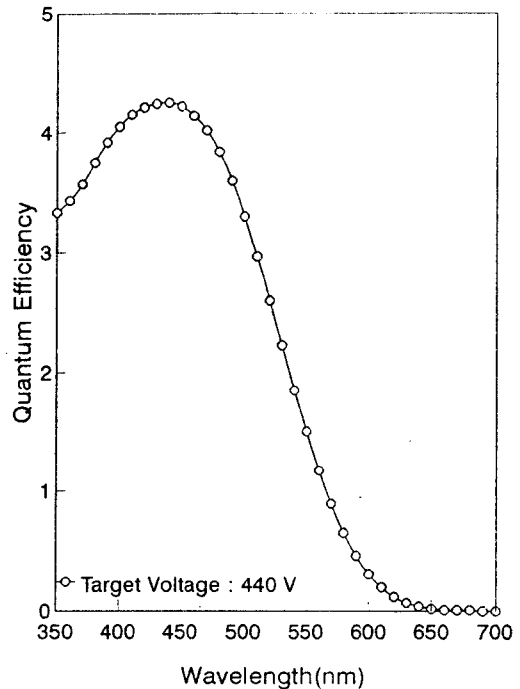


그림 4. HARP 촬상관의 양자효율.

Fig. 4. Quantum efficiency of the HARP tube.

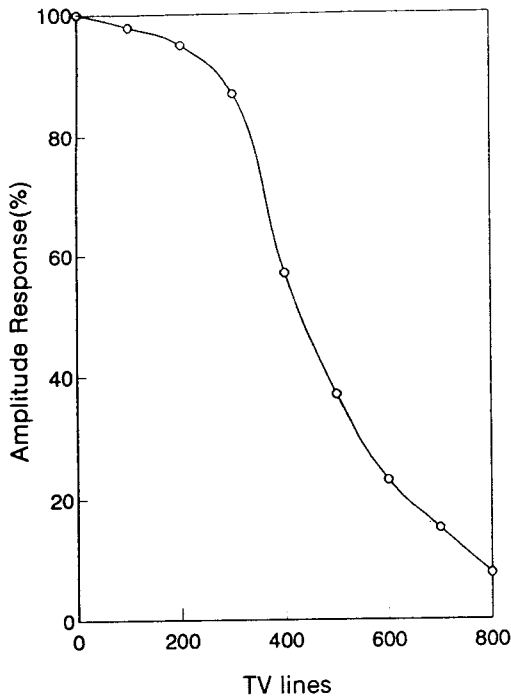


그림 5. HARP 촬상관의 진폭특성.

Fig. 5. Amplitude response of the HARP tube.

자에 대해서 많은 양의 캐리어를 얻을 수 있다.<sup>[8-11]</sup>  $1.1 \times 10^6$  V/cm의 전기장에서 440 nm의 파장에 대한 HARP 촬상관의 양자효율은 약 4.3으로 나타났다.

그림 5는 EIAJ(Electronic Industries Association of Japan) test chart B2를 이용하여 측정한 HARP 촬상관의 진폭특성을 나타낸 것이다. 일반적으로 촬상관의 진폭응답은 15 TV line에서의 진폭에 대한 각 TV line에서의 진폭의 비로 정의되며 HARP 촬상관의 진폭은 800 TV line에서 7.5%로 나타났다. 촬상관의 진폭특성은 주사 전자빔의 크기 등에 의존하므로 전자총의 개선을 통해 더 좋은 응답을 얻을 수 있다.<sup>[3,8]</sup>

일반적으로 촬상관의 잔상은 입사광을 차단시킨 후 3번째 필드의 신호전류와 광이 입사될 때의 신호전류의 비로 정의되며 촬상관의 잔상특성은 타겟의 축적용량과 촬상관의 유효 전자빔온도에 의해 결정될 수 있다.<sup>[14,10]</sup> 그림 6은 EIAJ test chart A를 이용하여 청색광에 대해 측정한 잔상을 나타낸 것이며 HARP 촬상관의 잔상은 3.4 %였다.

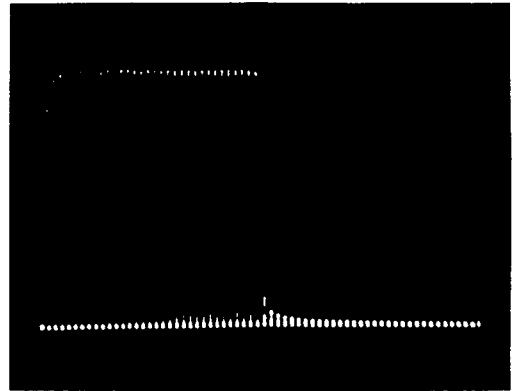


그림 6. HARP 촬상관의 잔상특성.

Fig. 6. Lag characteristic of the HARP tube.

## V. 결 론

a-Se 광도전막을 이용한 고감도 HARP 촬상관을 제작하고 그 특성을 조사하였다. HARP 촬상관에 청색광을 입사시키고 타겟전압을 490 V까지 증가시켰을 때 타겟의 암전류는 3.2 nA이하로 억제되었다. 그리고  $1.1 \times 10^6$  V/cm의 전기장에서 신호전류와 암전류의 비는 45.2 dB였으며 440 nm의 파장에 대한 HARP 촬상관의 양자효율은 약 4.3으로 나타났다. 또한 HARP 촬상관의 진폭은 800 TV line에서 7.5%로 나타났으며 HARP 촬상관의 잔상은 3.4%였다. 이러한 결과로부터 HARP 촬상관은 차세대 HDTV TV카메라용 촬상관으로 충분히 응용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] N. Goto, Y. Isozaki, K. Shidara, E. Maruyama, T. Hirai, and T. Fujita, "SATICON : a new photoconductive camera tube with Se-As-Te target," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-21, no. 11, pp. 662-666, 1974.
- [2] Al Month, "A 30-mm high-performance Saticon pickup tube," *SMPTE Journal*, vol. 89, pp. 505-507, 1980.
- [3] Eiichi Maruyama, "Amorphous built-in-field effect photoreceptors," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 21, no. 2, pp. 213-223, 1982.
- [4] Shunri Oda, Keishi Saito, Hisashi Tomita, Isamu Shimizu, and Eiichi Inoue, "The role of the

- blocking structure in hydrogenated amorphous silicon vidicon targets," *J. Appl. Phys.*, vol. 52, no. 12, pp. 7275-7280, 1981.
- [5] Isamu Shimizu, Shunri Oda, Keishi Saito, and Eiichi Inoue, "Vidicon target of a p-i-n structure using a-Si:H," *J. Appl. Phys.*, vol. 51, no. 12, pp. 6422-6423, 1980.
- [6] E. F. de Hann, F. M. Klaassen, and P.P.M. Schampers, "An experimental Plumbicon camera tube with increased sensitivity to red light," *Philips Tech. Rev.*, vol. 26, no. 2, pp. 49-51, 1965.
- [7] Tsutomu Araki, Shuichi Nagayama, and Toru Sone, "Low output capacitance diode gun Plumbicon," *National Tech. Rev.*, vol. 28, pp. 253-264, 1982.
- [8] Keiichi Shidara, Kenkichi Tanioka, and Tadaaki Hirai, "HARP:high-sensitivity camera tube," *Optoelectronics-Devices and Technologies*, vol. 6, no. 2, pp. 311-319, 1991.
- [9] Kenkichi Tanioka and Keiichi Shidara, "A highly sensitive camera tube using avalanche multiplication in an amorphous selenium photoconductive target," *Proceedings of SPIE*, vol. 1656, pp. 2-12, 1992.
- [10] Kenkichi Tanioka, Junichi Yamazaki, Keiichi Shidara, Kazuhisa Taketoshi, Tatsuro Kawamura, Tadaaki Hirai, Sachio Ishioka, and Yasuhiko Nonaka, "High gain photoconductive target for camera tube," *ITEJ Technical Report*, vol. 10, no. 45, pp. 1-6, 1987.
- [11] Kenkichi Tanioka, Junichi Yamazaki, Keiichi Shidara, Kazuhisa Taketoshi, Tatsuro Kawamura, Sachio Ishioka, and Yukio Takasaki, "An avalanche-mode amorphous selenium photoconductive layer for use as a camera tube target," *IEEE Electron Device Letters*, vol. EDL-8, no. 9, pp. 392-394, 1987.
- [12] P. K. Weimer, S. V. Fergue, and R. R. Goodrich, "The vidicon photoconductive camera tube," *Electronics*, vol. 23, pp. 70-73, 1950.
- [13] Misao Kubota, Tsutomu Kato, Shiro Suzuki, Kenkichi Tanioka, Hidezo Mori, and Kazuyuki Hyodo, "New Super-HARP Tube for Hi-Vision camera and its medical application," *ITE Technical Report*, vol. 20, no. 71, pp. 13-18, 1996.
- [14] M. Kubota, T. Kato, S. Suzuki, H. Maruyama, K. Shidara, K. Tanioka, K. Sameshima, T. Makishima, K. Tsuji, T. Hirai, and T. Yoshida, "Ultrahigh-sensitivity New Super-HARP camera," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 42, no. 3, pp. 251-258, 1996.
- [15] Junichi Yamazaki, Misao Kubota, Hirotaka Maruyama, Kenkichi Tanioka, Keiichi Shidara, Tadaaki Hirai, Kazutaka Tsuji, Yukio Takasaki, and Masanao Yamamoto, "Avalanche-type ultra-high-sensitive pickup tube," *Journal of the ITEJ*, vol. 46, no. 9, pp. 1189-1198, 1992.
- [16] Junichi Yamazaki, Kenkichi Tanioka, and Keiichi Shidara, "Development of the Super-HARP camera, a rival to the human eye, for the next generation of broadcasting," *SMPTE Journal*, vol. 101, no. 5, pp. 322-324, 1992.

---

 著 者 紹 介
 

---

**박 옥 동**

1963년 1월 8일생. 1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1994년 3월-1997년

2월 동양대학교 전자공학과 전임강사. 1997년 3월-현재 동양대학교 전자공학과 조교수. 주관심분야:반도체 물성, 광센서, 전계발광소자 등.

**김 기 완**

『센서학회지 제1권 제1호』 논문92-01, p.8참조  
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수

**Misao Kubota**

was born in Ishikawa Prefecture, Japan, on October 2, 1960. He received the B.E. degree in electronic engineering from University of Tokyo in 1983. In 1983, He joined NHK(Japan

Broadcasting Corporation). Since 1987, he has been with NHK Science and Technical Research Laboratories and engaged in the research and development of high sensitivity photoconductive target. Mr. Kubota is a member of the Institute of Television Engineers of Japan.

**Tsutomu Kato**

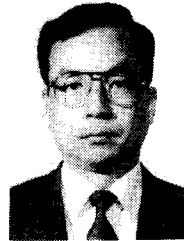
was born in Tokyo, Japan. He graduated from the Fukasawa Junior High School, Tokyo, Japan in 1958. In 1964, he joined NHK (Japan Broadcasting Corporation).

Since 1988, he has been with NHK Science and Technical Research Laboratories and engaged in the research and development of high sensitivity photoconductive target.

**Shiro Suzuki**

was born in Kanagawa, Japan. He graduated from the Isogo Technical High School, Kanagawa, Japan in 1968. In 1968, he joined NHK(Japan Broadcasting Corporation) Science and Technical Research Laboratories

and engaged in the research and development of high sensitivity photoconductive target. Mr. Suzuki is a member of the Institute of Television Engineers of Japan.

**Kenkichi Tanioka**

was born in Kochi Prefecture, Japan, on February 14, 1948. He graduated from Kochi Technical High school in 1966. He received the Ph.D. degree in electronics engineering in 1994 from Tohoku

University, Sendai, Japan. In 1966, he joined NHK(Japan Broadcasting Corporation). Since 1976, he has been with NHK Science and Technical Research Laboratories and engaged in the research on amorphous photoconductor for image pickup devices. His current research interests concern avalanche-mode selenium films for the image pickup devices and highly sensitive cameras. Dr. Tanioka is a member of the Institute of Television Engineers of Japan. He was awarded the Ichimura Awards in 1991, the Okouchi Memorial Prize in 1994 and the Imperial Invention Prize in 1996.