การวิเคราะห์กระแสโฟโตในเซลแสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็น

นายบุญมาก ศิริเนาวกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

แผนกวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๔

AN ANALYSIS OF PHOTOCURRENT

IN P-N JUNCTION SOLAR CELLS

Mr. Boonmark Sirinaovakul

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

Thesis Title An analysis of Photocurrent in P-N Junction Solar Cells

By Mr. Boonmark Sirinaovakul

Department Electrical Engineering

Thesis Advisor Assistant Professor Montri Sawadsaringkarn, Dr.Ing.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fulfillment of the requirements for the Master's degree.

.... Dean of Graduate School

(Associate Professor Supradit Bunnag, Ph.D)

Thesis Committee

.... Chairman

(Assistant Professor Sootin Wetwatana, Ph.D)

.... Member

(Associate Professor Somsak Panyakeow, Ph.D)

.... Member

(Assistant Professor Montri Sawadsaringkarn, Dr.Ing.)

.... Member

(Manoon Aramrattana, Ph.D)

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์กระแสโฟโตในเซลแสงอาทิตย์แบบหัวต่อ พี-เอ็น

ชื่อนิสิต นายบุญมาก ศิริเนาวกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา ๒๕๒๓

บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพของเซลแสงอาทิตย์สามารถพิจารณาได้จากพารามิเตอร์ใหญ่ ๆ ๓ ค่า คือ แรงดันวงจรเปิด กระแสลัดวงจร และฟิลล์แฟคเตอร์ จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ก็เพื่อที่จะศึกษาผลของค่ากระแสโฟโตที่มีต่อสมรรถนะของเซล

การวิเคราะห์กระแสโฟโตสามารถทำได้โดยการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ ในแต่ละย่านของเซลแสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็นที่ทำด้วยซิลิกอน ได้แก่ ย่านพี ย่านเอ็นและย่านปลอดพาหะเพื่อคำนวณค่ากระแสโฟโตทั้งหมดของเซลโดยใช้หลักการซูเปอร์โพซิชั่นโดยการสมมุติว่า การเติมสารเจือปน ค่าความคล่องตัวของพาหะและค่าเวลาของพาหะในย่านพีและเอ็นมีค่าสม่ำเสมอทั่วทั้งย่าน และที่บริเวณย่านปลอดพาหะมีค่าสนามฯฟฟ้าสูงมากพอที่จะทำให้พาหะที่เกิดจากแสงถูกกวาดข้ามย่านนี้ไปโดยไม่มีการรวมตัวกัน การคำนวณนี้ทำได้โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาโฟร์แทรนสี่ เพื่อสร้างแบบจำลองผลและศึกษาดูลักษณะแนวโน้มการเพิ่มค่ากระแสโฟโต

การเพิ่มค่ากระแสโฟโตสามารถทำได้โดยการแปรค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเซล เช่น ค่าระยะลึกของหัวต่อ ค่าความต้านทานจำเพาะที่ฐาน จากผลการทดลองแสดงผลที่สอดคล้องกับการคำนวณ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงอีกว่าการกำจัดค่า dead layer และการทำเซลแสงอาทิตย์ชนิดที่มีสนามไฟฟ้าด้านหลัง (บี เอส เอฟ) ทำให้ประสิทธิภาพของเซลสูงขึ้นกว่าเซลแสงอาทิตย์แบบหัวต่อพี-เอ็นธรรมดาเท่ากับ ๘ และ ๒๑ เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Thesis Title	An Analysis of Photocurrent in P-N Junction Solar Cells
Name	Mr. Boonmark Sirinaovakul
Thesis Advisor	Assistant Professor Montri Sawadsaringkarn, Dr. Ing.
Department	Electrical Engineering
Academic Year	1980

ABSTRACT

The efficiency of solar cells is determined by three main parameters, i.e. the open-circuit voltage, V_{oc}, the short circuit current, I_{sc} and the fill factor, F.F. The objective of this work is to study on the effect of photocurrent to the cell performance.

Numerical analysis of photocurrent was carried out in each regions of n-on-p junction silicon solar cells, i.e. p-region, n-region and space charge region. Total current produced in the solar cell was computed by the principle of superposition with the assumptions that both sides of the junction are uniformly doped and that the values of mobility and lifetime of minority carriers remain constant throughout each uniform region. It is also assumed that the electric field in the space charge region is high enough to accelerate the photogenerated carriers out of the region before they can recombine. A computer program in FORTRAN IV language is written to simulate the relevant model to study the increasing trend of photocurrent.

Increase of photocurrent in n-on-p silicon colar cells was achieved by varying some physical and geometrical parameters such as the junction depth, X_j, substrate resistivity, ρ ,etc. The experimental results show

good agreement with the computation. Elimination of "dead layer" by anodic oxidation and the Back Surface Field effect are also experimentally investigated to study the increasing trends of the photocurrent. The results show that solar cells under the conditions of elimination of "dead layer" and of having the Back Surface Field effect have higher efficiency of 8 percent and of 21 percent than ordinary n-on-p silicon solar cells, respectively.

ACKNOWLEDGMENTS

The author wishes to thank Assistant Professor Dr. Sootin Wetwatana, Associate Professor Dr. Somsak Panyakeow, Assistant Professor Dr. Montri Sawadsaringkarn and Dr. Manoon Aramratana for their supervision, encouragement and advice throughout the course of this thesis. The technical assistance of, and helpful discussions on processing with Mr. Pierre Bernoux and other members of the Semiconductor Device Research Laboratory (SDRL) are gratefully acknowledged. Special thanks are due Miss Raya Chaturabul for her patient and skillful effort of typing this thesis and are also due Plan and Developement Co.,Ltd. for providing typing equipments and facilities.

DEDICATED TO

My mother, Mrs Ai-ngim Sirinaovakul

and my father, the late Mr. Somsak Sirinaovakul

TABLE OF CONTENTS

TABLE OF CONTENTS (Continued)

TABLE OF CONTENTS (Continued)

LIST OF ILLUSTRATIONS

LIST OF ILLUSTRATIONS (Continued)

LIST OF ILLUSTRATIONS (Continued)

LIST OF ILLUSTRATIONS (Continued)

LIST OF TABLES

LIST OF SYMBOLS

A	cross-sectional area
D_n	diffusion coefficient of electron in p-type material
D_p	diffusion coefficient of holes in n-type material
E	electric field
$F(\lambda)$	incident photon density per second per unit band-width at wavelength λ
FF	fill factor
G	carrier generation rate due to incident light
H	total cell thickness (semiconductor regions only)
I_m	current at maximum power point
I_s	dark current preexponential term, reverse saturation current
J_{sc}	short circuit current density
$J_{dr}(\lambda)$	photocurrent density per unit bandwidth at wavelength, λ due to collection from the depletion region
$J_p(\lambda)$	photocurrent density per unit bandwidth at wavelength, λ due to hole collection from the n-side of the junction
J_{ph}	photocurrent density (same as short circuit current density for negligible series resistance)
k	Boltzmann constant
L_n	electron diffusion length in p-type material
L_p	hole diffusion length in n-type material
N_a	acceptor density
N_d	donor density
N_t	density of recombination centers
n	ideality factor in dark current of Schottky barrier

n_i	intrinsic carrier density
n_p	electron density in p-type material
P_n	hole density in n-type material
P_{no}	hole density at equilibrium in n-type material
R	reflectivity
R_s	series resistance
R_{sh}	shunt resistance
S_p	front surface recombination velocity (for holes)
S_n	back surface recombination velocity (for electron)
T	temperature in °K
V_d	built-in voltage
V_m	voltage at maximum power point
V_{oc}	open circuit voltage
V_{th}	thermal velocity
W	depletion width
W_{p+}	width of the highly doped region at the back of a Back Surface Field cell
x_j	junction depth (width of the top region)
α	absorption coefficient
σ_p	hole capture cross section
τ_p	hole lifetime
τ_n	electron lifetime
λ	wavelength
δ	dead layer
ψ_p	low-high junction barrier height

LIST OF DEFINITIONS

Air Mass	Secant of the sun's angle relative to the zenith, measured at sea level.
AMO	Solar spectrum in outer space.
AM1	Solar spectrum at earth's surface for optimum conditions at sea level, sun at zenith.
AM2	Solar spectrum at earth's surface for average weather conditions (technically,the spectrum received at earth's surface for 2 path traversals through the atmosphere).
Back Surface Field	A diffused or grown electrical contact to the base which blocks minority carriers but transmits majority carriers.
Base	The bulk region of the solar cell lying beneath the thin top region and the depletion region.
Dead Layer	A thin region adjacent to the front surface with very short lifetime. The dead layer is a result of the diffusion process, and extends over about a third of the top region.
Fill Factor	The fraction of the product of the short circuit current and open circuit voltage which is available as maximum power output.

Inherent Efficiency	The power conversion efficiency of a solar cell without accounting for series resistance, shunt resistance, or reflection losses.
Open Circuit Voltage	Light-created voltage output for infinite load resistance.
Photocurrent	The current generated by light.
Short Circuit Current	The current for zero-net bias voltage across the device. It can differ from the photocurrent if a large series resistance is present.
Top Region	The thin, heavily doped region of the cell adjacent to the surface (i.e., the P region in - a P/N cell or the N region in an N/P cell, etc.).