

# FIXED CHARGE MEASUREMENT BY SURFACE FREE ENERGY

**Barbora Mojrová**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xmojro00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ondřej Hégr

E-mail: hegr@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This work deals with an alternative method of fixed charge measurement in thin dielectric layers by surface free energy. Fixed charge in a passivation layer extends charge's carrier lifetime thanks to so-called back surface field (BSF) effect. Surface free energy is analyzed from a contact angle size using See System.

**Keywords:** EEICT, Back surface field, Contact angle, See System, Fixed Charge

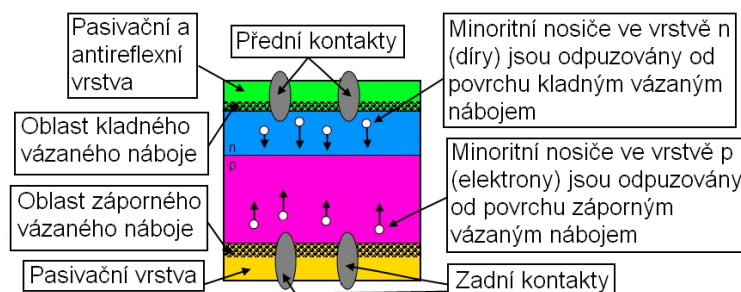
## 1. ÚVOD

Tato práce se zabývá nalezením vztahů mezi vázaným nábojem v pasivační vrstvě a kontaktním úhlem, resp. volnou povrchovou energií. V roce 1986 publikovali A. M. Stoneham a P. W. Tasker článek *The wetting of oxide films on silicon and the monitoring of fixed charge* [1], kde popisují, jak vázaný náboj na povrchu oxidové vrstvy působí na kapku vody. Různé hodnoty smáčivosti křemíku vodou byly připsány působení vázaného náboje ve vrstvě nativního oxidu vzniklého na povrchu substrátu.

## 2. BACK SURFACE FIELD (BSF)

Pasivace povrchu solárních článků se provádí za účelem snížení hustoty povrchových stavů (rekombinačních center), vedoucí k prodloužení doby života nosičů náboje a v konečném důsledku zvýšení účinnosti solárního článku. Je-li v objemu pasivační vrstvy přítomen vázaný náboj, který svým elektrostatickým polem působí na nosiče náboje, je pasivační efekt ještě výraznější. Tento efekt se obecně nazývá Back Surface Field (BSF).

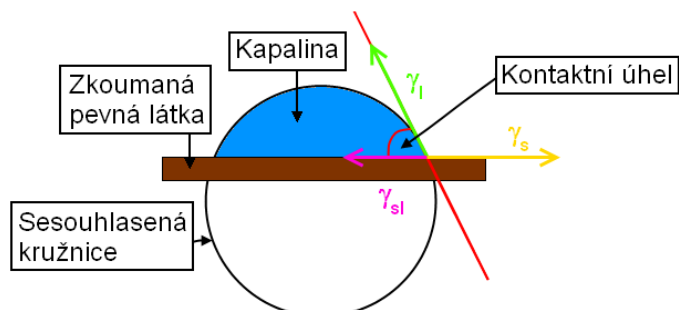
Působení vázaného náboje je znázorněno na obrázku 1. Vázaný náboj, opačné polarity než jsou majoritní nosiče v pasivované vrstvě, vytváří elektrické pole, které odstiňuje minoritní nosiče zpět do objemu substrátu. Důsledkem tohoto efektu je nižší úroveň povrchové rekombinace v oblasti přechodu substrát-kontakt a tím vyšší účinnost solárního článku.



**Obrázek 1:** Působení vázaného náboje v pasivační vrstvě.

### 3. VÝPOČET VOLNÉ PVRCHOVÉ ENERGIE Z HODNOTY KONTAKTNÍHO ÚHLU

Velikost volné povrchové energie je vyhodnocována pomocí See Systemu, který pracuje s kontaktními úhly několika různých druhů kapalin nanesených na měřenou vrstvu. Kontaktní úhel je úhel mezi tečnou k části kružnice tvořící profil kapky na povrchu zkoumaného materiálu a rovinnou pevné fáze. Bod dotyku je v tzv. třífázovém rozhraní – v bodě, kde se stýkají všechny tři fáze (plynná, kapalná, pevná).



**Obrázek 2:** Kontaktní úhel.

Rovnováhu sil na fázovém rozhraní popisuje Youngova rovnice

$$\gamma_l \cos \theta = \gamma_s - \gamma_{sl} \quad (1)$$

kde  $\gamma_l$  je povrchová energie kapaliny,  $\gamma_s$  je povrchová energie tuhé látky a  $\gamma_{sl}$  je mezifázová energie rozhraní tuhá látka-kapalina. Velikost volné povrchové energie se následně spočítá pomocí zvoleného modelu z velikosti kontaktního úhlu a parametrů měřících kapalin.

### 4. ZJIŠTĚNÉ HODNOTY VOLNÉ PVRCHOVÉ ENERGIE

Měřené pasivační vrstvy jsou tvořeny těmito materiály – oxidem hliníku ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), nitridem hliníku (AlN), oxidem yttria ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ), fosforo-silikátovým sklem (PSG), nestechiometrickým oxidem křemíku ( $\text{SiO}_x$ ) a nestechiometrickým nitridem křemíku ( $\text{SiN}_x$ ).

Hodnota volné povrchové energie  $\gamma_s$  byla vypočítána pomocí Kwok-Neumannova jednodokapalinového modelu. Tento model byl zvolen proto, že vázaný náboj může působit na velikost kontaktního úhlu některých kapalin a výpočet pomocí vícekapalinových modelů by tento efekt mohl skrýt.

Maximální vypočtená hodnota volné povrchové energie  $\gamma_s$  pomocí určité kapaliny nesmí překročit hodnotu její vlastní povrchové energie  $\gamma_l$ . Čím je vyšší hodnota  $\gamma_s$  pevné látky vyšší, tím je více smáčivý, u kapalin je ale tato závislost opačná. Pokud je pak hodnota volné povrchové energie pevné látky a kapaliny stejná, povrch je vůči ní dokonale smáčivý. Pomocí See Systemu lze měřit kontaktní úhly do velikosti cca  $5^\circ$ .

K měření volné povrchové energie byly použity kapaliny, jejichž přehled a důležité parametry jsou uvedeny v tabulce 1. Parametry vzorků – materiál a tloušťka pasivační vrstvy – jsou uvedeny v tabulce 2, spolu se zjištěnými hodnotami jejich volné povrchové energie  $\gamma_s$  pro jednotlivé testovací kapaliny. Velikost kapek byla  $1,5 \mu\text{l}$ , aby nedocházelo k deformaci jejich tvaru vlivem gravitace. To je zvláště důležité u nízkoenergetických – nesmáčivých povrchů, tj. je-li kontaktní úhel pro danou kapalinu větší než cca  $90^\circ$ .

Testovací kapalina	Voda	Glycerol	Formamid	Etylenglykol	Diiodometan	$\alpha$ -Bromonaftalen
	Polární	Polární	Polární	Polární	Nepolární	Nepolární
$\gamma$ [ $\text{mJ}/\text{mm}^2$ ]	72,8	64	58	48	50,8	44,4

**Tabulka 1:** Parametry měřících kapalin.

Vzorek		Zjištěná volná povrchová energie vzorků $\gamma_s$ pomocí testovacích kapalin $\gamma_s$ [mJ/mm <sup>2</sup> ]					
Materiál	Tloušťka pasivační vrstvy [nm]	Voda	Glycerol	Formamid	Etylen-glykol	Diiodometan	$\alpha$ -Bromonaftalen
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40	27,07	26,22	26,39	24,57	34,49	35,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	24,10	23,90	23,66	23,05	30,85	34,53
AlN	100	29,78	28,66	29,01	27,08	36,09	38,36
AlN	100	28,44	25,33	25,88	24,30	35,11	36,49
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60	25,11	24,07	26,23	23,10	35,78	35,70
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40	22,94	23,66	26,04	22,68	35,72	37,02
PSG	51	49,07	45,86	48,78	40,77	37,33	41,38
PSG	48,7	52,78	50,62	51,41	41,73	36,90	40,49
PSG	31,7	57,04	52,08	55,23	44,86	38,12	40,74
SiO <sub>x</sub>	13	47,44	45,04	51,27	43,36	38,47	41,54
SiO <sub>x</sub>	40	49,65	45,28	50,60	42,09	37,52	42,10
SiO <sub>x</sub>	91	42,82	39,03	48,49	38,57	38,11	41,34
SiN <sub>x</sub>	80,5	53,01	44,29	52,37	43,86	39,61	42,65
SiN <sub>x</sub>	77	49,12	42,69	51,44	43,31	40,07	42,33
SiN <sub>x</sub>	75	57,09	55,04	54,52	45,27	39,72	42,18

**Tabulka 2:** Parametry zkoumaných vzorků a vypočtené hodnoty volné povrchové energie pro jednotlivé vzorky a kapaliny.

## 5. SHRnutí

- Z naměřených dat v tabulce 2 je zřejmé, že hodnota volné povrchové energie  $\gamma_s$  vypočtená z kontaktních úhlů s nepolárními kapalinami je mnohem méně závislá na materiálu pasivační vrstvy než s polárními kapalinami. Vyšší hodnoty  $\gamma_s$  u polárních kapalin mohou být způsobeny přítomností kladného vázaného náboje (ve vrstvách SiO<sub>x</sub> a SiN<sub>x</sub> se předpokládá kladný náboj), nízké hodnoty přítomností záporného vázaného náboje (ve vrstvách Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se předpokládá záporný náboj).
- U vrstev s nižší hodnotou volné povrchové energie  $\gamma_s$  jsou její hodnoty pro všechny polární kapaliny srovnatelné, protože se zde neprojevuje limitující hodnota – vlastní volná povrchová energie kapaliny  $\gamma_l$ . Ta se projevuje u vrstev s hodnotou  $\gamma_s > 40$  mJ/mm<sup>2</sup>.
- Práce bude pokračovat modifikací měření pomocí elektrického pole a změřením skutečné polarizace a velikosti vázaného náboje jinou metodou.

## LITERATURA

- [1] Stoneham, A. M. a Tasker, P. W. The wetting of oxide films on silicon and the monitoring of fixed charge. *IOPScience*. [Online] 24. Leden 1986. <http://iopscience.iop.org/0268-1242/1/1/011>. 10.1088/0268-1242/1/1/011.