

RAPID THERMAL ANNEALING OF SILICON WAFERS

Ondřej Frantík

Master Degree Programme, FEEC BUT
E-mail: xfrant00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Ivan Szendiuch

E-mail: szend@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

Low cost, rapid and high thermal heating, rapid cooling and high efficiency, there are RTP (Rapid Thermal Processing) properties. We can use RTP for annealing, diffusion, contacting, oxidation and others. Rapid change of temperature has specific influence on different wafers behavior in RTP technology in the contrast to the standard heating technology. Rapid temperature change can be followed besides positive effects by creation of stresses and defects in the silicon substrate.

This paper is focused on annealing by RTP. Wafers were p-type monocrystalline CZ silicon with different bulk minority carrier lifetime. Minority carrier lifetime was measured by MW-PCD (Microwave Photoconductance Decay) before and after thermal processing.

1. ÚVOD

RTP (Rapid Thermal Process) nebo také RTA (Rapid Thermal Annealing) je technologie, která byla vyvinuta koncem osmdesátých let. Slouží k urychlení výrobních procesů v mikroelektronickém průmyslu. Mezi její další výhody patří rychlý vysokoteplotní ohřev (až 200°C/s), rychlé chlazení, nízká cena provozu a další. Primární zaměření této technologie je difúze, oxidace, kontaktování. V průběhu let se ukázalo, že lze RTA využívat na další specifické aplikace, jako na příklad žíhání SiN_x a další.

2. PRAKTICKÁ ČÁST

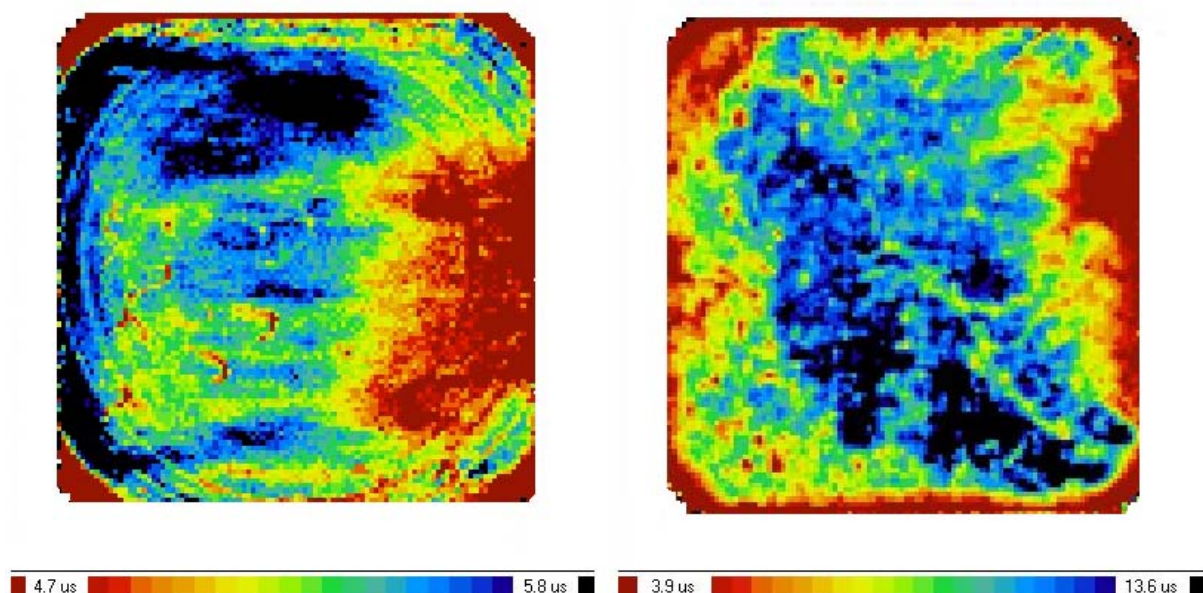
Monokrystalický křemík sám o sobě obsahuje mnoho defektů a nečistot. Jako jsou intersticiální prvky, jejich precipitáty a další, které vznikají především při výrobě monokrystalu. Podle [1] lze tyto defekty odstranit vysokoteplotním žíháním. Ovšem objevují se i defekty, které jsou indukovány světlem (borokyslíkové a železokyslíkové páry). Podle [7] lze tento typ defektů odstranit ohřevem při 200°C po dobu 30 minut.

Parametrem charakterizující nečistoty a defekty je doba života minoritních nosičů náboje. Ta je nepřímo úměrná těmto nečistotám a defektům. Chceme ji tedy zvýšit, a to za pomoci žíháním na peci RTA.

2.1. ŽÍHÁNÍ PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH – EXPERIMENT 1

Byl založen na teoretickém předpokladu, že nejhodnější pro odstranění defektů v křemíkových deskách je co možná nejvyšší teplota, která se blíží bodu tání křemíku. Při návrhu experimentu byla použita faktorová analýza podle [5] a analýza rozptylu podle [2], pomocí níž je možno sledovat jednotlivé vlivy klíčových parametrů na sledovanou veličinu.

Klíčovými parametry RTA jsou maximální teplota, doba této maximální teploty a rychlost stoupání a klesání maximální teploty. Každému z těchto parametrů jsem přidělil dvě konkrétní hodnoty, na příklad pro maximální teplotu to byla hodnota 1100°C a 1050°C. Takže prostřídáním jednotlivých parametrů, nám vzniklo 8 skupin. S tím, že jsme použily dva typy materiálu, bez „swirls“ a se „swirls“ („swirls“ = kruhové a spirálové úkazy, jenž jsou vidět na snímku z MW-PCD, viz obrázek 1). Sledovanou veličinou byla doba života minoritních nosičů náboje.



Obrázek 1: Křemíkový substrát před žíháním v RTA a po žíhání

Obr. 1 ukazuje desku se „swirls“ před a po vysokoteplotním kroku. Je patrné zlepšení doby života minoritních nosičů.

Průměrná doba života minoritních nosičů se nám zvýšila o několik μs pro desky se „swirls“, u desek bez „swirls“ se doba života snížila. Dále faktorová analýza ukázala, že nejvýznamnějším parametrem je maximální teplota a s jejím snížením dochází ke zvýšení doby života minoritních nosičů u desek se „swirls“.

2.2. ŽÍHÁNÍ PŘI RŮZNÝCH TEPLOTÁCH – EXPERIMENT 2

Plně vycházel z experimentu 1, vyzkoušely jsme sedm teplotních profilů s rozdílnými teplotami na několika křemíkových substrátech se „swirls“. Potvrdily se výsledky předchozího experimentu. Dokonce se podařilo podstatně zvednout doba života minoritních nosičů u nejlepšího vzorku z 29 μs na 285 μs . Což je podstatné zvýšení.

3. ZÁVĚR

Bylo prokázáno, že pec RTA je vhodná na žíhání křemíkových substrátů. Ovšem tyto substráty musí obsahovat „swirls“. Jako nejvhodnější pro žíhání se ukázala teplota 310°C, při níž došlo k významnému zvýšení doby života minoritních nosičů.

Dalším výzkumem bude určen vliv tohoto žíhání při nízkých teplotách na konečné parametry solárního článku. Pro nějž jsou substráty určeny. Vyskytuje se totiž otázka, jak se žíhaný substrát zachová při dalších vysokoteplotních krocích.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory v rámci řešení VaV projektů KAN100500652 a 1M06031 s finanční podporou ze státního rozpočtu prostřednictvím GAAV a MŠMT.

LITERATURA

- [1] Čech, P.: Výzkum vlivu krátkodobého vysokoteplotního žíhání křemíkových substrátů ze zvýšeným obsahem intersticiálního kyslíku v dusíkové atmosféře na elektrické vlastnosti substrátu, Rožnov pod Radhoštěm, 2007, Technická zpráva. SOLARTEC s.r.o.
- [2] Doolittle, A. Rapid Thermal Processing. [cit. 2007-10-10]. Dostupné z WWW: <http://users.ece.gatech.edu/~alan/ECE6450/Lectures/ECE6450L6Rapid%20Thermal%20Processing.pdf>
- [3] Fajmon, B., Kolaček, J. Pravděpodobnost, statistika a operační výzkum, skriptum. Brno. 2005. 246 stran.
- [4] Lorenc, M., Šik, J., Válek, L. Technologie růstu monokrystalu křemíku Czochralského metodou. [cit. 2008-11-03]. Dostupné z WWW: http://silicon.euweb.cz/LORENC_CZSi.pdf
- [5] Maixner, L. Navrhování automatických výrobních systémů, Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1980. 210 stran. ISBN neuvedeno
- [6] Peters, S. Rapid Thermal Processing of Crystalline Silicon Materials and Solar Cells. [cit. 2007-10-05]. Dostupné z WWW: http://www.ub.uni-konstanz.de/kops/volltexte/2004/1209/pdf/peters_dissertation.pdf
- [7] Schmidt, J., Bothe, K.: Electronically activated boron-oxygen-related recombination centers in crystalline silicon. [cit. 2008-07-07]. Dostupné z WWW: <http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JAPIAU00009900001013701000001&idtype=cvips&gifs=yes>
- [8] Szendiuch, I. Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů, Brno: VUTIUM Nakladatelství VUT v Brně, 2006. 379 stran. ISBN 80-214-3292-6