

SAFYRO PADĖKLIUKŲ NAUDOJAMŲ LED GAMYBOJE PJOVIMO PROCESO KOKYBĖS UŽTIKRINIMAS

Laimonas Kairiūkštis

*Utenos kolegija, Verslo ir technologijų fakultetas
Maironio g. 18, Utena*

Anotacija

Diegiant naujas technologijas, įmonėse būtina vykdyti eksperimentus, kurių metu optimizuojamas gamybos procesas, siekiant užtikrinti produkto kokybę prie minimalių gamybos kaštų. Vykdamas eksperimentinę plėtrą įmonėse, būtina nusistatyti proceso kokybinius rodiklius, atlikti reikiamus matavimus, kad būtų galima vertinti jų kokybę ir priiminti pagrįstus sprendimus. Straipsnyje pateikiamas statistinės analizės pritaikymas siekiant užtikrinti mikroelektronikos įmonėje gaminamų safyro padėkliukų kokybę pjovimo procese.

Reikšminiai žodžiai: Proceso kokybės rodiklis, gamyba, matavimai, technologija

LED technologijos plėtra

Globaliame pasaulyje nuolat stiprėjant konkurencijai iškyla poreikis optimizuoti gamybinius kaštus, nes tai yra vienintelis būdas įmonei išlikti rinkoje. Ne mažą vaidmenį atlieka šalių vyriausybės remdamos vietinius verslus ir skatindamos investicijas į naujų technologijų diegimą Lietuvoje. Skaitmeniniame amžiuje technologijos ypač greit sensta, todėl jas būtina kuo greičiau įdiegti ir optimizuoti jų panaudojimą. Gamybos optimizavimas vyksta nuo neatmenamų laikų, tačiau kiekvienai gamybinei įmonei reikia pasirinkti savo unikalų optimizavimo būdą ir planuotai vykdyti šį procesą. Daugelis įmonių mano, kad įsigijus pačius moderniausius gamybos įrenginius, jos atitrūks nuo konkurentų. Tačiau naujos įrangos įdiegimas gali turėti netgi priešingų pasėkmių įmonei, nes dėl didelių investijų produkto savikaina gali netgi išaugti ir to pasekoje gaminys gali tapti nekonkurenciju rinkoje. Todėl įmonėms ypač svarbu įsivertinti žmogiškąjį faktorių, t. y. technologijos diegėjų mokslinius, analitinius gebėjimus, kadangi tik paremti eksperimentais ir gilia duomenų analize sprendimai atneša didžiausią naudą ir užtikrina įmonei sėkmingą ateitį. Lietuvoje vykdamas mokslinius tyrimus ir eksperimentinę plėtrą įmonėse (MTEP) daugeliu atveju atliekama tik eksperimentinė plėtra. Ši plėtra atliekama mokslinių tyrimų ir praktinės patirties pagrindu, sukauptu pažinimu pagrįsta sisteminga veikla, leidžianti įgyti papildomų žinių, tiesiogiai prisidedančių kuriant naujus produktus ar procesus, ar juos tobulinant. Vykdamas bet kurią veiklą reikalingi rodikliai, įsivertinti savo veiklos naudingumą. Šiame tyrime nagrinėjamas monokristalinio safyro pjovimo procesas, kurio galutinis produktas – safyro padėkliukai, vėliau naudojami LED šviestukų gamyboje.

Šiandieniniame pasaulyje perdegus apšvietimo lemputei jau retam kam kyla klausimas, kokį šviesos šaltinį rinktis, norint apšviesti savo būstą, pramonės objektą ar įrenginėjant apšvietimą viešuose erdvėse. Šviesos šaltiniu pasirinkti LED (šviesos diodus) skatina vis augantis jų efektyvumas bei vartotoją tenkinantis aukštas spalvų atkūrimo indeksas (CRI – Color Rendering Index) siekiantis 80-90. Taip pat didėja ir led šaltinių efektyvumas. Jei 2008 m buvo džiaugiamasi pasiekus ~70–80 lm W⁻¹ efektyvumą ir svajojama gauti 100 lm šviesos srautą iš 1 W galios šaltinio [1], tai šiomis dienomis Lietuvos gamintojai jau siūlo LED modulius apšvietimui su 169,9 lm/W efektyvumu [2], o LED šviestukų gamintojai jau pradėjo teikti šviestukus su 213 lm/W efektyvumu [3]. LED, kaip šviesos šaltinio, pasirinkimą automobilių pramonėje aprašo John D. Bullough [4] palygindamas metines elektros sąnaudas susidarančias vairuojant automobilį su kaitrinėmis lemputėmis ir pakeitus jas LED šaltiniais, kurių panaudojimas sumažina elektros suvartojimą per metus beveik 3 kartus nuo 45,9 kWh iki 18,5 kWh. Lygindami LED šviestukų pranašumą su kitų

rūšių šviesos šaltiniais galime išskirti jų ilgą tarnavimo laiką, kuris yra viršija 50000h ir L70 parametras, t. y. šviesos srauto sumažėjimą iki 70% nuo pradinio šviesos srauto. Toks LED ilgamžiškumas ženkliai sumažina eksploatacijos kaštus ir LED šviesos šaltinius padaro nugalėtojais apšvietimo rinkoje. Vis didėjanti LED šaltinių paklausa lemia pusfabrikačių panaudojamų LED šviestukų gamyboje poreikį. Vienas iš svarbiausių LED šviestukų gamyboje naudojamų medžiagų yra safyras, iš kurio daromi padėkliukai ant kurių vėliau auginamos pn puslaidininkių struktūros.

Tyrimo problema. Mikroelektronikos įmonėje instaliavus safyro pjovimo stakles, kilo būtinybė atlikti eksperimentus siekiant optimizuoti safyro padėkliukų mechaninio apdirbimo, t. y. pjovimo proceso parametrus. Dirbant su santykinai brangiomis žaliavomis iškyla poreikis kryptingai planuoti eksperimentus ir ir atlikti minimalų bandymų kiekį, todėl būtina tinkamai įvertinti atliktus matavimus ir nusistatyti proceso kokybės rodiklius. Pabrėžtinai ilgas vieno iš kiečiausių žemėje kristalų safyro pjovimo laikas, kuris siekia net 12 h esant 150 mm ruošinio skersmeniui.

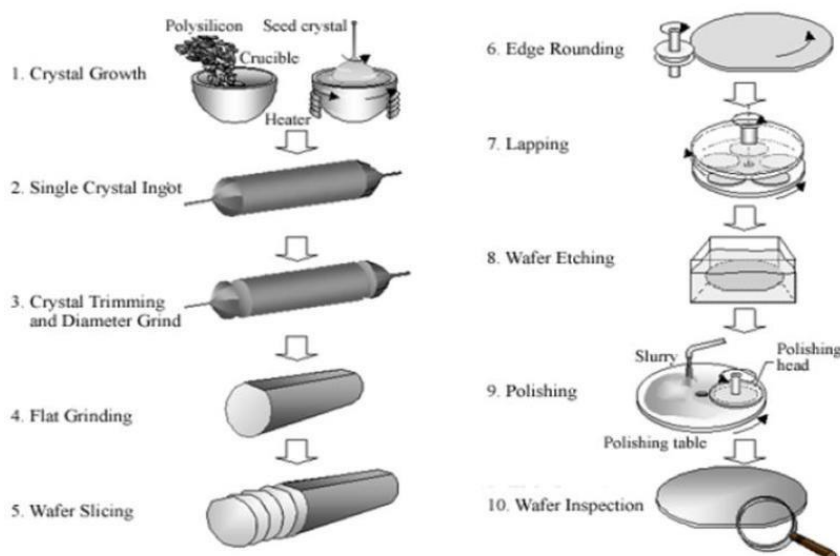
Tyrimo tikslas. Įdiegti gamyboje safyro pjovimo proceso stabilumo kokybės rodiklį, leidžiantį optimizuoti gamybą ir padedantį įvertinti atliktų eksperimentų naudą.

Tyrimo objektas. Safyro monokristalo pjovimo daugiavielėmis staklėmis operacija, kurios metu pagaminami padėkliukai, naudojami LED šviestukų gamyboje.

Tyrimo metodai. Mokslinės literatūros sisteminė ir kritinė analizė, pasirinktų produkto kokybę charakterizuojančių dydžių fizikiniai matavimai, statistinis apdorojimas ir įvertinimas.

Safyro padėkliukų gamybos procesas

Safyro padėkliukų gamybos procesą sudaro eilė sudėtingų procesų, kurių metu įvykus mažiausiam nuokrypiui nuo technologinių parametrų, antra po deimanto pagal kietumą medžiaga gali prarasti savo savybes ir didelių energetinių ir laiko resursų reikalaujantį procesą paversti niekais. Jeigu kitus gamybos procesus galime koreguoti eigoje, tai mūsų atveju safyro monokristalo pjovimo operacijos parametrai negali būti keičiami gamybos metu, dėl kristalui būdingų savybių. Safyro pjovimo deimantu padengta viela proceso trukmė siekia 12 h ir visą šį laiką turi būti užtikrintos pastovios aplinkos sąlygos, bei stabilus įrengimo darbas. Gamybos ceche yra palaikoma pastovi temperatūra, pjovimo staklių guoliai aušinami vandeniu, kas būtų palaikoma $\pm 0,5^\circ$ C temperatūra. Padėkliukų pjovimas yra viena iš sudedamųjų safyro padėkliukų gamybos proceso dalių 1 pav. Nei viena gamybinė operacija negali būti kartojama, t. y. įvykus bet kokiam nuokrypiui nuo užduotų parametrų, gaminy s brokuojamas, nes jo neįmanoma pataisyti.

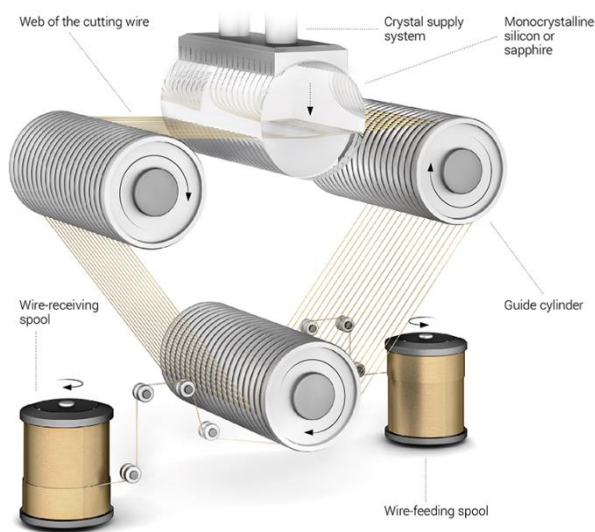


1 pav. Padėkliukų gamybos proceso etapai [5]

Puslaidininkų monokristalų, silicio (Si), safyro (Al_2O_3) gamyba prasideda nuo kristalo auginimo aukštoje temperatūroje esant giliam vakuumui. Vėliau išaugintame kristale išpjaunami cilindriniai ruošiniai, kurių kristalografinė orientacija tikrinama rentgeno spinduliais. Kristalo orientacija ašies atžvilgiu turi būti išlaikoma viso proceso metu [6], todėl ir prieš pjovimo procesą tvirtinant cilindrinį ruošinį vėl atliekamas rengenografinis ruošinio skenavimas ir cilindrinis ruošinys priklijuojamas prie specialaus amortizuojančio mikrovibracijos laikiklio. Vėliau daugiavielėmis staklėmis atliekamas 10-12 h trunkantis pjovimo procesas, kuris yra vienas iš kritiškiausių LED safyro padėkliukų gamybos žingsnių. Jei nors vienas iš užduotų parametrų neišlaikomas, tai 10-14 dienų trukęs kristalo auginimas pavirsta beverčiu. Po pjovimo operacijos seka pirminis, grubus šlifavimas, švelnus šlifavimas ir šlapias poliravimas naudojant emulsija susidedančia ir vienu poliarumu elektriškai įkrautomis silicio oksido nanodalelėmis. Po poliravimo operacijos vyksta galutinis safyro padėkliukų kokybinių parametrų matavimas ir perdavimas į plovimo-pakavimo operaciją, kuri vykdoma itin švariose patalpose (ISO Class 5).

Jeigu po kiekvienos operacijos (pav.1) matuosime ir vertinsime padėkliukų parametrus ir atliksime korekcinius veiksmus, tai gaminant vis naujas partijas galima pasiekti vis geresnį rezultatą. Optimizavus procesą ir priklausomai nuo rezultatų, tarpinius matavimus stengiamasi eliminuoti kaip ir kiekvieną pridėtinės vertės nenešančią operaciją. Šiame darbe bus apžvelgiamas safyro ruošinių pjovimo procesas atliekant safyro padėkliuko geometrinių parametrų matavimus.

Safyro padėkliukų pjovimo proceso kokybę įtakančius veiksniai aprašo mokslininkas Mengjun Zhang ir kt. [7], kiti mokslininkai bando susieti pjovimo proceso kokybę su kaštais ir nagrinėja pjovimo deimantu ekonominius aspektus [8].



2 pav. Kristalo pjovimas deimantine viela [9]

Priklausomi nuo pjaunamo cilindro skersmens ir jo ilgio rašomas dedikuotas unikalus pjovimo receptas, kuriame nurodoma vielos judėjimo pirmyn-atgal greitis, pagreitis, ruošinio padavimo greitis, ruošinio svyravimas aplink ašį. Nenutrūkstamo proceso metu, kurio trukmė iki 12h, jei pjaunamas 6 colių skersmens safyro padėkliukas, nuolatos atliekamas deimantinės vielos aušinimo skysčio ir guoliaviečių temperatūros palaikymas $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Safyro padėkliukų pjovimo operacijos kokybinis vertinimas

Atlikus atitinkamus matavimus galima įvertinti bet kurį technologinį procesą. Daugumą atliktų matavimo rezultatų vertinimas atliekamas remiamasi pagrindiniais veiksmingumo rodikliais (KPI – Key Performance Indicator). Šie rodikliai yra nustatomi kiekvienai gamybos operacijai atskirai ir vykdant eksperimentinės plėtros darbus nuolat analizuojama KPI rodiklių dinamika. Taigi naudojimas KPI padeda įvertinti kiekvienos operacijos atitikimą standartų ar kliento užduotims reikalavimams ir nuolat gerinti bet kurio proceso kokybę ir stabilumą.

Safyro padėkliukai buvo pjaunami daugiavielėmis staklėmis Meyer Burger DW 288 [10], paviršiaus geometriniai matmenys buvo matuojami Hennecke Systems Gmbh optiniu matavimo prietaisu HE-SIM. Tyrimo metu buvo matuojami 17 padėkliuko geometrinių matmenų pagal SEMI MF657 standartą [11] iš kurių vėliau buvo išskirti sekantys kritiniai parametrai: storis (Thickness), storio variacijos (TTV –Total Thickness Variation), išgaubimas (BOW), išsivartymas (WARP). Parametrų optimizacija prasidėjo nuo pjovimo mašinos Meyer Burger DW 288 gamintojo pateiktų minimalių verčių: Thickness – 1200 μm , TTV <25 μm , BOW <20 μm , WARP <45 μm . Optimizuojant safyro padėkliukų gamybos procesą buvo naudojama „Six Sigma“ koncepcija, penkių fazių kokybės gerinimo metodika DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). Pradiniame, Define etape įvertinus LED safyro padėkliukų pirkėjų lūkesčius buvo nustatyti kritiniai kokybės rodikliai (CTQ –Critical to Quality): Thickness – 1200 μm , TTV <10 μm , BOW <30 μm , WARP <30 μm . Kritiniai kokybės rodikliai nusako ar gaminamas produktas bus kliento priimtas ar atmestas kaip brokuotas. Vykdamas safyro kristalo pjovimo daugiavielėmis staklėmis procesą nuolatos buvo atliekami matavimai, po kurių sekdamo duomenų analizė, kurios pagrindu buvo optimizuojami pjovimo parametrai išvardinti aukščiau.

Proceso stabilumo vertinimo rodiklis C_p – tai skaitine išraiška pateiktas rodiklis nusakantis koks stabilus yra gamybos procesas. Šis rodiklis palygina proceso sklaidą su specifikacijos sklaida ir išreiškia per standartinę proceso variaciją. Tolerancija – tai gaminio (detalės) matmens leistinųjų nuokrypių ribos. Rodiklis C_p apskaičiuojamas sekančiai [12]:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\delta},$$

kur

δ – standartinis proceso nuokrypis,

USL – viršutinė leistinoji riba (USL, angl. Upper Specification Limit), naudojama viršutinė priimtina gamybos proceso matmens leistinoji riba.

LSL – apatinė leistinoji riba (LSL, angl. Lower Specification Limit) – naudojama apatinė, mažiausia gamybos proceso matmens leistinoji riba.

Proceso stabilumo vertinimo rodiklis C_p neįvertina proceso centravimo, t.y. kaip matuojamo proceso parametrų vidurkis yra pasiskirstęs visame duotos specifikacijos plotyje, todėl naudojamas C_{pk} rodiklis įvertinantis proceso nukrypimą nuo užduotų verčių [12]:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\delta}, \frac{\mu - LSL}{3\delta} \right\},$$

kur

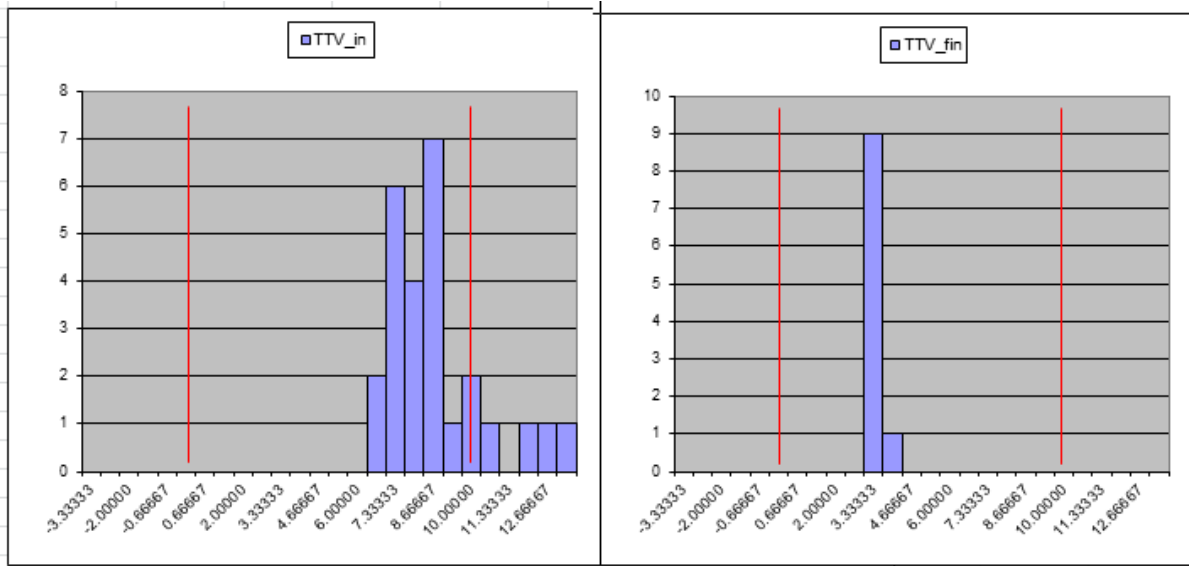
δ – standartinis proceso nuokrypis,

μ – išmatuotų proceso reikšmių vidurkis,

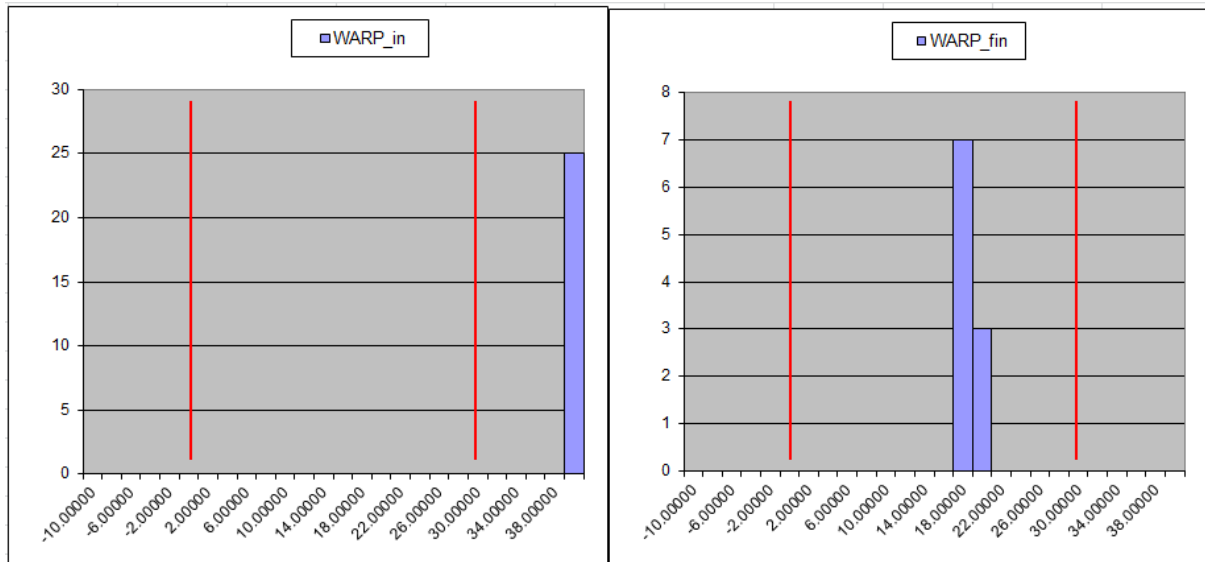
USL – viršutinė leistinoji riba,

LSL – apatinė leistinoji riba.

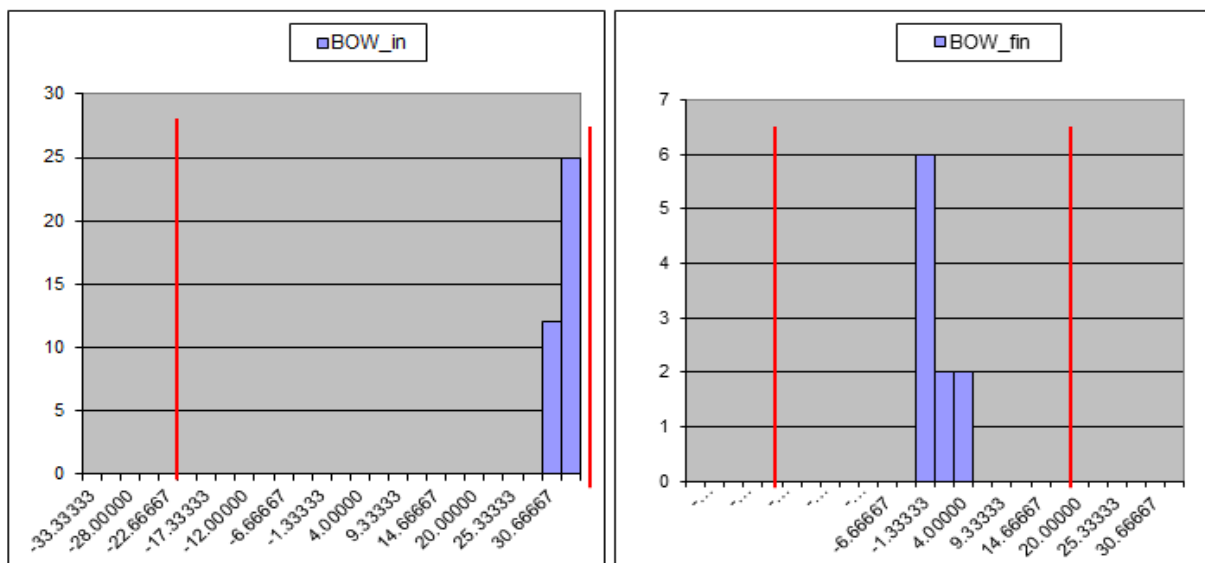
Proceso kokybės įvertinimas pagal padėkliukų geometrijos parametrus TTV, WARP, BOW proceso pradžioje ir po proceso optimizacijos pateiktas histogramose žemiau. Proceso stabilumo vertinimo rodiklių skaičiavimą galima atlikti Excel skaičiuoklės pagalba ar pasinaudojant skaičiuoklėmis pateiktoms šaltiniuose [skaičiuokle 1, 2].



3pav. Padėkliuko storio vertės kitimo histograma: a) proceso pradžia b) po optimizacijos



4pav. Padėkliuko WARP vertės kitimo histograma: a) proceso pradžia b) po optimizacijos



5pav. Padėkliuko išlinkimo BOW vertės kitimo histograma: a) proceso pradžia b) po optimizacijos

Proceso stabilumo vertinimo rodiklius C_p ir C_{pk} reikia nuolat vertinti vis siaurinant proceso langą, t.y. keičiant viršutinę ir apatinę vertes. Natūralu, kad įvedant naują gamybinį procesą, šie rodikliai gali jūsų netenkinti nes išmatuoti produkto parametrai nepapuoia į užduotas technines specifikacijas.

1 lentelė. Proceso stabilumo kokybinio vertinimo reikšmės

Proceso stabilumo būklė	C_p vertė	Pastabos
Nuostabi	$2,00 \leq C_p$	Galima kelti aukštesnius kokybės reikalavimus
Puiki	$1,67 \leq C_p \leq 2,00$	
Patenkinama	$1,00 \leq C_p \leq 1,33$	Reikalinga analizė
Neadekvati	$0,67 \leq C_p \leq 1,00$	Procesas neatitinka reikalavimų
Prasta	$C_p < 0,67$	

Vertinant proceso kokybės būklę C_p atitinkamas reikšmes reikia imti iš 1 lentelės ir pagal apskaičiuota reikšmę taikyti atinkamus proceso korekcinius veiksmus.

Atlikus pjovimo proceso optimizavimą per 2 metus buvo pasiektos sekančios vertės kurios pateikiamos 2 lentelėje.

2 lentelė. Pjovimo parametrų kitimas

Parametras	Pradinė vertė	Pasiekta vertė	Pagerėjimas, kartai
TTV	$<25 \mu\text{m}$	$<5 \mu\text{m}$	5
BOW	$<20 \mu\text{m}$	$<5 \mu\text{m}$	4
WARP	$<45 \mu\text{m}$	$<20 \mu\text{m}$	2.25

Pasiekus optimalius pjovimo parametrus lieka labai svarbus uždavinys – proceso stabilumo užtikrinimas.

Išvados

Dažnai įmonės vadovai reikalauja operatyvios, glaustos ir parodančios realią situaciją apie vykstančią gamybą informacijos. Neatitiktinio produkto kiekis dažnai neapibūdina gamybinio proceso kokybės. Siekiant bedefektinės (Zero Defect) gamybos galima naudoti įvairius neatiktinį produktą apibūdinčius skaičius, t.y. vertinti procentinę neatitiktinio produkto išraišką ar skaičiuoti *DPM* (Defect per million) defektus tenkančiui vienam milijonui gaminių. Tačiau šie rodikliai neteikia informacijos apie proceso stabilumą, jo kitimą, technologai negali įsivertinti kokybiškai ar procesas pablogėjo ar pagerėjo. Proceso stabilumo vertinimo rodiklius C_p ir C_{pk} galima naudoti visuose gamybos procesuose, kuriuose mes galime atlikti matavimus, t.y. apibrėžti produktą išmatuojamomis charakteristikomis.

Susiaurinus proceso langą, tampa ypač svarbu įsivertinti matavimo neapibrėžtį, kad gaminys nepatektų už neapriimtinių intervalo ribų. Taip pat galimas atvejis, kai matuojamas dydis papuoia ant specifikacijoje nurodytos apatinės ar viršutinės ribos. Netinkamas išmatuotos reikšmės priskyrimas, įvertinant matavimo neapibrėžties dydį, gali ne tik pabloginti proceso stabilumo rodiklius, bet ir iššaukti gamintojo arba pirkėjo riziką dėl atmestų kokybiškų gaminių ar išsiųstų klientui nekokybiškų gaminių. Šiuo atveju, t.y. dirbant labai siaurame procese, visada būtina taikyti sprendimo priėmimo taisyklę, kurią gamintojas privalo deklaruoti savo klientui siekdamas skaidraus ir sąžiningo bendradarbiavimo.

Tyrimai buvo atlikti diegiant safyro padėkliukų gamybos procesą UAB „Rokor“ 2013-2015 metais vykdant „Aukštos raiškos šviesos diodų (HB LED) ir mikroelektronikos bei kitų (optinių) komponentų iš dirbtinio safyro gamyba“ projektą [15]. Ekperimentinės gamybos pradžioje buvo pasiektos patenkinamos ir stabilios safyro padėkliukų pjovimo daugiavielėmis staklėmis proceso stabilumo C_p vertės. Nuolat vykdant proceso monitoringą, per 2 metus pavyko net kelis kartus

pagerinti 6 colių padėkliukų pjovimo charakteristikas lyginat su pjovimo staklių gamintojo Meyer Burger pateiktais.

Literatūra

1. D. Szwedek, An analysis of the historical development of the energy efficiency for various lighting technologies, 2020
<https://repositum.tuwien.at/bitstream/20.500.12708/16124/2/Szwedek%20Daniel%20-%202020%20-%20An%20analysis%20of%20the%20historical%20development%20of%20the%20energy...pdf>
2. Produkto aprašymas. https://aktoled.com/wp-content/uploads/2020/12/VALUE_EXTENDED_COLOR_CRI80_EN.pdf
3. Naujausi LED duomenų lapai [LM281B+ Pro | SAMSUNG LED | Samsung LED Global Website](#)
4. John D. Bullough LEDs and automotive lighting applications, ScienceDirect, 2018
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101942-9.00020-4>
5. Puslaidininkių gamybos procesas http://4.bp.blogspot.com/-EZSaksZW6eU/V-IU27vgQtI/AAAAAAAAAv8/ZO2PvW76sTEkq6Ppx4bvZRwJ6W6Bwk2LwCK4B/s1600/turnkey_AS_N_GRN_semiconductor_manufacturing_process_wafer_manufacturing_process_bump_sort_probe_die2.jpg
6. Elena R. Dobrovinskaya, L. A. Lytvynov, V. Pishchik Sapphire Material, Manufacturing, Application, Springer (2010) p.9
7. Mengjun Zhang, Yuli Sun, Dunwen Zuo, Chunxiang Xie, Chunming Zhang Experimental Study on Slicing of Sapphire with Fixed Abrasive Diamond Wire Saw, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:9, No:5, 2015
doi.org/10.5281/zenodo.1100551
8. P. Cichosz, 2008 Economic aspects of cutting with diamond-coated wire, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Volume 8, Issue 4, 2008, Pages 5-14, [https://doi.org/10.1016/S1644-9665\(12\)60117-4](https://doi.org/10.1016/S1644-9665(12)60117-4)
9. Kristalo pjovimo procesas [High-strength cutting wire for semiconductor production - technical illustration \(visual-science.com\)](#)
10. Daugiavielės pjovimo staklės DW288 <https://www.precision-surface.ch/en/dw288s4.html>
11. Standartas. Test Method for Measuring Warp and Total Thickness Variation on Silicon Wafers by Noncontact Scanning <https://store-us.semi.org/products/mf065700-semi-mf657-test-method-for-measuring-warp-and-total-thickness-variation-on-silicon-wafers-by-noncontact-scanning>
12. Wen-lea Pearn, Samuel Kotz (2006) Encyclopedia And Handbook Of Process Capability Indices: A Comprehensive Exposition Of Quality Control Measures
<http://web.b.ebscohost.com/ehost/ebookviewer/ebook/ZTAyMHR3d19fNTE0ODIzX19BTg2?nobk=y&sid=2e3fadb8-a232-4d22-95d9-37cb0d0bd0e1@sessionmgr101&vid=7&format=EB&rid=1>
13. Proceso stabilumo vertinimo rodiklio Cpk skaičiuoklė nr1. [process capability - cpk - free excel template \(sixsigmablackbelt.de\)](#)
14. Proceso stabilumo vertinimo rodiklio Cpk skaičiuoklė <https://fddocuments.in/document/cpk-ppk-calculator-v41a.html>
15. Projekto nuoroda. Aukštos raiškos šviesos diodų (HB LED) ir mikroelektronikos bei kitų (optinių) komponentų iš dirbtinio safyro gamyba <http://www.esparama.lt/paraiska?id=39119&order=-10&page=&pgsz=50>

THE QUALITY ASSURANCE OF THE SAPPHIRE WAFERS CUTTING PROCESS

Laimonas Kairiūkštis

Utena University of Applied Sciences, Faculty of Business and Technology

Maironio str. 7, Utena

Summary

Lighting industry switch from traditional lighting sources to light-emitting diodes (LEDs) as a source, challenged a spectacular growth of LED industry which showed the biggest grow among other electronic industries in the last 10 years. Constant demand for sapphire wafers, which are used as the substrates for fabricating GaN light-emitting diodes (LEDs), influenced the usage of the bigger diameter sapphire wafers. The quality of the sapphire wafer makes significant influence on quality of the LED. A series of machining processes is required to turn sapphire bar stock into wafers with the desired geometry and surface quality. The multi-wire sawing process is analyzed by taking into an account the quality as measurand of the process stability.

Research methods: the analysis of the scientific literature and statistical analysis of the experimental data from real manufacturing microelectronics plant.

While introduction of new technologies, it is necessary to carry out experiments, during which the production process is optimized in order to ensure product quality at minimal production costs. The companies R&D centers should carry a lot of experiments during the setup of new process while introducing new technologies, like cutting 6 inch sapphire wafer, one of the hardest materials in the world with precise boundaries of product geometry. The article introduces the implementation of DMAIC (Define, measure, analyze, improve, and control), a data-driven quality strategy into multi-wire sawing process in order to improve processes. DMAIC is an integral part of a Six Sigma technique for the process improvement which is based on Statistical Process Control (SPC). In order to understand how multi-wire sawing process is operating to the specifications, the Key Performance Indicator (KPI) were used. The 30 % better results were achieved within one year of experimental manufacturing process, while SPC data was analyzed by calculating C_{pk} , Process Capability indicator. After successful implementation of the DMAIC technique, the same approach was used for improving the next sapphire wafer manufacturing processes: lapping and grinding, surface finishing (including mechanical polishing and chemical mechanical polishing) and plasma etching.

The experiments were carried on 2013-2015 at company UAB "Rokor" during the project "Manufacture of high definition light emitting diodes (HB LEDs) and microelectronics and other (optical) components from artificial sapphire".