

LĀZERABLĀCIJAS IZMANTOŠANA VARA SLĀŅA NOŅEMŠANAI PCB PLATĒM

REMOVE THE COPPER LAYER OF PCB BOARDS BY USING LASER ABLATION

Autors: **Vitālijs Dunkins**, e-pasts: dvitaly2@inbox.lv,+37126372733
Zinātniskā darba vadītājs: **Andris Martinovs, Dr.sc.ing. asoc. prof.**,
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne

Abstract. *The publication describes results of copper laser ablation which shows copper layer dependence of a laser radiation, such as supply, pulse frequency and processing speed reacts.*

Keywords: *laser ablation, PCB, copper, color*

Ievads

Ar katru gadu lāzeru izmantošana palielinās. Tos lieto metālapstrādē, medicīnā, pat izklaides nozarē lāzerus izmanto, veidojot šovus. Pētījumi veicina tehnoloģiju attīstību. Šajā rakstā pētīta problēma, kas saistīta ar lāzera stara izmantošanu vara slāņa noņemšanai no tekstolīta.

Ražojot PCB plates, jāveido celiņi uz tekstolīta platēm. Pašlaik ražošanā pamatā tiek izmantota vara kodināšana.

Pirmkārt, tas ir samērā ilgs process. Vienas plates izgatavošanai, atkarībā no plates izmēra, nepieciešams no vienas līdz dažām stundām[1]. PCB plašu ražošanas procesu var būtiski paātrināt, ja kodināšanu aizstāj ar lāzerablāciju.

Otrkārt, kodināšana ir kaitīga apkārtējai videi. Kodināšana nav ekoloģiski tīrs tehnoloģisks paņēmieni, jo ķīmiju vajag vēl utilizēt pēc tās izmantošanas.

Treškārt, ja nepieciešams izgatavot tikai vienu plātes prototipu, kodināšana nav ekonomiski izdevīga.

Vara absorbcijas koeficients pie lāzera stara viļņa garuma ~600 nm un garākiem ir tikai 5-10%[2]. Līdz ar to, vara apstrāde ar lāzeriem ir problemātiska.

Problēmas, kas saistītas ar vara lāzera apstrādi, jau ir pētījuši vairāki autori. D. Autrique, Z. Chen, V. Alexiades, A. Bogaerts un B. Rethfeld izstrādāja matemātisku modeli vara lāzerablācijai nano sekunžu lāzerim [3]. Citi autori pētīja lāzerablāciju varam, izmantojot nanosekunžu lāzeri[4]. Žurnālā „JOURNAL OF APPLIED PHYSICS” publicēts raksts, kur autori pētīja lāzerablācijas iedarbību uz varu, izmantojot femtosekunžu lāzeru[5]. Procesu, kura laikā tiek izurbti caurumi varā, aprakstīja Chung-Wei Cheng un Jinn-Kuen Chen savā darbā [6]. Kā tiek izmantota lāzerablācijas process PCB plašu izgatavošanai ir aprakstīti vairākos rakstos [7,8,9].

Šī darba mērķis - izstrādāt metodi PCB plašu ražošanai, izmantojot lāzerablāciju ar diode-pumped fiber Yb lāzeru, kura viļņa garums 1064 nm.

Material and methods

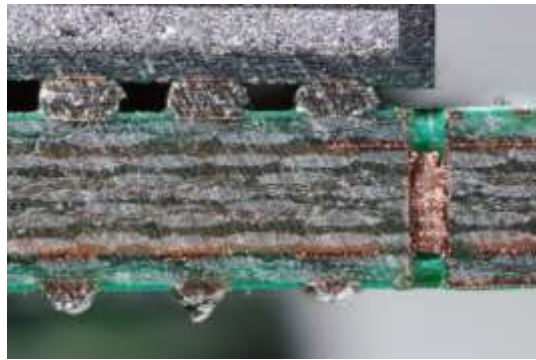
Materiāls

Pētāmais objekts ir stikla tekstolīta plate ar vara slāņa pārklājumu (PCB plate). Stikla tekstolīts tiek izgatavots no atsevišķām plānām stikla šķiedrām (1.att.).



1.attēls Stikla šķiedras orientācija [1]

Ļoti plāns stikla šķiedras audums ir piesūcināts ar sveķiem. Lai izveidotu plati, stikla šķiedras audumus liek vienu uz otru, kā arī liek vara foliju. Tās tiek uzsildītas un presētas. Sildīšana nodrošina, ka sveķi tiek uzsildīti, un tie kļūst mīksti. Sapresējot audumus, mīkstie sveķi aizpilda visus tukšumus un nodrošina visu slāņu sacietēšanu vienā kopīgajā platē (2.att.). [1]



2.attēls Stikla tekstolīta plates šķērsriezums [1]

Lāzeris. Pētījumā tiek izmantots Rofin PowerLine F20 Varia lāzeris.

1.tabula

Lāzersistēma Rofin PowerLine F20 Varia, Tehniskie parametri

Simbols	Nosaukums	Vērtību diapazons	Solis	Mērvienība
f	Impulsu atkārtošanas frekvence	2 .. 1000	0.001	kHz
v	Skenēšanas ātrums	1 .. 20000	1	mm/s
τ	Impulsa ilgums	4, 8, 14, 20, 30, 50, 100, 200		ns
Δf	Fokusa nobīde	-10 .. 10	0.5	mm

Procesa parametri

Simbols	Nosaukums	Vērtību diapazons	Mērvienība
P	Vidējā jauda	0 .. 20	W
E_P	Impulsa enerģija	0 .. 1	mJ
P_P	Impulsa jauda	0 .. 12.5	kW

Raksturojums:

Lāzera tips – diode-pumped fiber Yb (optiskā šķiedra, kas leģēta ar iterbiju), impulsu režīms

Viļņa garums – 1064 [nm]

Stara iedarbības zonas diametrs – 30 [μ m]

Marķēšanas laukums – 120 [mm] \times 120 [mm]

Lāzera drošības klase – 4

Dzeses sistēma – gaisdzese.



3.attēls Skanēšanas galvas funkcionālais princips [10]

Mikroskops kvalitātes kontrolei

Mikroskopa modelis Nikon AZ100. Tehniskie dati ir attēloti 2.tabulā.

2.tabula

Mikroskopa parametri

Palielinājums	5x līdz 400x
Palielinājums ar koaksialo apgaismotāju	6.25 līdz 500x
Transfokācijas diapazons	1x līdz 8x
Okulāra palielinājums	10x/22mm
Objektīvu palielinājums	AZ-PlanApo 0,5x, 1x, 4x; AZ-PlanFluor 2x, 5x

Rezultāti

Pētījumā tika veikts eksperiments, kura laikā tika mainīti šādi parametri: jaudas intensitāte (q), apstrādes ātrums (v), impulsu frekvence (f), lāzera stara solis (Δx). Kā atsevišķais eksperiments tika mainīts atkārtotības reizes.



4.attēls Eksperimenta rezultāti

Jaudas intensitāte tiek aprēķināta, izmantojot formulu (1);

$$q = \frac{P}{S} \quad (1)$$

kur: q – jaudas intensitāte [W/cm^2];

P – jauda [W];

S – lāzera stara punkta laukums [cm^2].

Pirmajā rindā tika mainīta jaudas intensitāte robežas no $0,57 \cdot 10^6 W/cm^2$ līdz $2,85 \cdot 10^6 W/cm^2$. Bet nemainīgie parametri ir: apstrādes ātrums – 100 mm/s, impulsu frekvence – 500kHz, lāzera stara solis – 0.01mm.

Otrajā rindā tika mainīta apstrādes ātrums no 100 mm/s līdz 500 mm/s. Bet nemainīgie parametri ir: jaudas intensitāte – $2,85 \cdot 10^6$ W/cm², impulsu frekvence – 500kHz, lāzera stara solis – 0.01mm.

Trešajā rindā tika mainīta impulsa frekvence no 100 kHz līdz 500 kHz. Bet nemainīgie parametri ir: jaudas intensitāte – $2,85 \cdot 10^6$ W/cm², apstrādes ātrums – 100 mm/s, lāzera stara solis – 0.01mm.

Ceturtajā rindā tika mainīts lāzera stara solis no 0.01 mm līdz 0.05mm. Bet nemainīgie parametri ir: jaudas intensitāte – $2,85 \cdot 10^6$ W/cm², apstrādes ātrums – 100 mm/s, impulsu frekvence – 500kHz.

Piektajā rindā tika mainīts atkārtēšanas skaits no 3 līdz 21. Nemainīgi parametri ir: jaudas intensitāte – $2,85 \cdot 10^6$ W/cm², impulsu frekvence – 125 kHz, apstrādes ātrums 100 mm/s, lāzera stara solis – 0.01mm.

Eksperiments parādīja, ka pie dažiem režīmiem vara slānis atslāņojas, bet pie dažiem – vara slānis nomainīja tika savu virsmas krāsu.

Kā redzams 4.att. pirmajā rindā uz pirmajiem četriem kvadrātiem nav nekādas iedarbības. Tikai piektajā vara slānis tiek atslāņots. Otrajā rindā pirmie divi kvadrāti nomainīja savu krāsu, bet pārējiem trim vara slānis tika atslāņots. Trešajā rindā pirmie divi kvadrāti nomainīja savu krāsu uz tumšāku. Trešajā var novērot, ka izveidojas plaisa vara slānī, bet pārējiem diviem kvadrātiem vara slānis atslāņojas. Ceturtajā rindā pirmais kvadrāts nomainīja savu krāsu uz zilu. Uz otrā kvadrāta ir redzama plaisa vara slānī, bet pārējiem kvadrātiem vara slānis tika atslāņots. Pēdējā rindā ir redzams, ka pirmajos piecos kvadrātos nav novērojamas nekādas izmaiņas. Tikai krāsas maiņa uz brūno krāsu. Pēdējais kvadrāts ir pārdedzināts, un ir sabojāts tekstolīts. Sestajā kvadrātā ir redzams, ka tekstolīts gandrīz nav bojāts, un vara slānis tiek atslāņots.

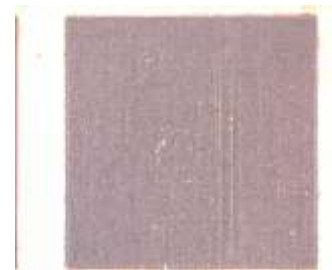
Veiktie eksperimenti rāda, ka arī uz vara var iegūt krāsainu marķēšanu.



$q=2,85 \cdot 10^6$ W/cm²,
 $v=500$ mm/s
 $f=500$ kHz, $dx=0,01$ mm

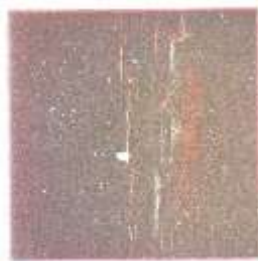


$q=1,71 \cdot 10^6$ W/cm²,
 $v=100$ mm/s
 $f=500$ kHz, $dx=0,01$ mm



$q=2,85 \cdot 10^6$ W/cm²,
 $v=100$ mm/s
 $f=200$ kHz, $dx=0,01$ mm

6. attēls Piemēri, kur varš nomainīja savu krāsu



$q=2,85 \cdot 10^6$ W/cm²,
 $v=100$ mm/s
 $f=300$ kHz, $dx=0,01$ mm

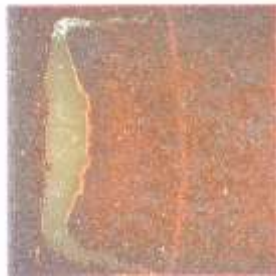


$q=2,85 \cdot 10^6$ W/cm²,
 $v=100$ mm/s
 $f=500$ kHz, $dx=0,025$ mm

7. attēls Piemēri, kur vara slānī ir novērojama plaisa



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$
 $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,0125 \text{ mm}$



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$
 $f=400 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=167 \text{ mm/s}$
 $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$

8. attēls Piemēri, kur vara slānis sāk atslāņoties

Analizējot kvadrātus, kuros vara slānis atslāņojas, var novērot, ka varš atslāņojas nevienmērīgi. Tas var būtiski ietekmēt plašu ražošanu. Labāki rezultāti tika sasniegti ar sekojošiem parametriem:

$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, $v=100 \text{ mm/s}$, $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$ (9.att.) (otrā rinda piektais kvadrāts);

$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, $v=100 \text{ mm/s}$, $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$ (9.att.) (trešā rinda piektais kvadrāts);

$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, $v=100 \text{ mm/s}$, $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$ (9.att.) (ceturtā rinda piektais kvadrāts).



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$,
 $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$,
 $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$,
 $f=500 \text{ kHz}$, $dx=0,01 \text{ mm}$

9.attēls Eksperimentu salīdzinājums

Eksperimenta laikā tika mainīts viens no četriem parametriem. Atsaucoties uz 9.att. ir redzams, ka nav atšķirības, kas tiek mainīts. Rezultāti ar vienādiem parametriem ir vienādi. Tas norāda uz to, ka eksperimenta rezultāti ir ticami.

Apskatot šos kvadrātus pie lielāka palielinājuma ir redzams, ka tekstolīts ir arī labā kvalitātē.

Apskatot eksperimenta pēdējo rindu, var novērot, ka, apstrādājot vienu virsmu vairākas reizes, var iegūt rezultātu, ka pakāpeniski vara slānis tiek noņemts. Jāpiemeklē tikai tik lielu apstrādes daudzumu, lai būtu kvalitatīva apstrāde. Ja apstrādes skaits būs par mazu, netiks noņemts nepieciešamais vara slāņa biezums (10.att.), bet, ja apstrādes skaits būs par lielu, tad tekstolīts tiks sabojāts (12.att.).



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$
 $f=125 \text{ kHz}$, $dx=0.01 \text{ mm}$
 $R=9$

**10.attēls Vara slānis
noņemts ne līdz galam**



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$
 $f=125 \text{ kHz}$, $dx=0.01 \text{ mm}$
 $R=18$

**11.attēls Vara slānis
noņemts daļēji**



$q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$,
 $v=100 \text{ mm/s}$
 $f=125 \text{ kHz}$, $dx=0.01 \text{ mm}$
 $R=21$

**12.attēls Vara slānis un
tekstolīts pārdedzināti**

Conclusions

Tika piemeklēti parametri, ar kuriem ir iespējams noņemt vara slāni PCB plašu ražošanai, izmantojot lāzerablāciju. Lietojot Rofin PowerLine F20 Varia lāzeri, optimāli ir šādi parametri: jaudas intensitāte $q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, apstrādes ātrums 100 mm/s, impulsa frekvence 500 kHz. Tā kā vara slānis tikai atslāņojas nevis iztvaikojas, šajā virzienā vēl jāveic pētījumi. Līdz ar to, nākamie pētījumi varētu būt saistīti ar to, kā var vēl optimizēt iegūtos rezultātus.

Summary

The publication describes results of copper laser ablation which shows copper layer dependence of a laser radiation, such as supply ($q=0,57 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, $\div q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, step $q=0,57 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$), pulse frequency (100 kHz \div 500 kHz, step 100 kHz) and processing speed reacts. In experiment was carried out using a PowerLine F20 Varia (laser pulse wavelength: 1050-1075 nm; power: 20 W; laser pulse energy: $\sim 0.95 \text{ mJ}$; repetition frequency: 2-1000 kHz; laser pulse duration: 4-200 ns, selectable). The best result is received with supply $q=2,85 \cdot 10^6 \text{ W/cm}^2$, processing speed 100 mm/s, impulse frequency 500 kHz.

References

1. <https://habrahabr.ru/company/madrobots/blog/214153/> (sk. 28.03.17)
2. Dr.-Ing. Bruno E. Bulushek, Manufacture of Laser Welded Composite Tubes. http://www.tubenet.org.uk/technical/swiss_m.html
3. D. Autrique, Z. Chen, V. Alexiades, A. Bogaerts, B. Rethfeld. A Multiphase Model for pulsed ns-Laser Ablation of Copper in an ambient Gas.
4. Andrea Cazzaniga, Rebecca Bolt Ettlinger, Stela Canulescu, Jørgen Schou, Nini Pryds. Nanosecond laser ablation and deposition of silver, copper, zinc and tin
5. K. K. Anoop, R. Fittipaldi, A. Rubano, X. Wang, D. Paparo, A. Vecchione, L. Marrucci, R. Bruzzese, and S. Amoroso. Direct femtosecond laser ablation of copper with an optical vortex beam.
6. Chung-Wei Cheng and Jinn-Kuen Chen. Drilling of Copper Using a Dual-Pulse Femtosecond Laser.
7. Михаил Петров, Лазерная обработка материалов в электронике, Компоненты и технологии №8, 2002;
8. В.Никируй, Лазерные технологии в производстве печатных плат и не только, печатный монтаж 2-3/2009;
9. Лазерная обработка материалов в электронике, Рынок микроэлектроники, http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/02_08/stat_164.htm;
10. PowerLine F Assembly and Operating Instructions Version 1.0