



INTERNATIONAL
HELLENIC
UNIVERSITY

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Ειδικές τεχνικές ηλεκτρονικών κολλήσεων για διατάξεις επιφανειακής στήριξης

Special techniques for soldering surface mount devices (SMD)

Παναγιώτης Κάππας

Επιβλέπων καθηγητής: Μιχάλης Κιζήρογλου

Θεσσαλονίκη 2025

Δήλωση Πνευματικής Ιδιοκτησίας

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία και τα συμπεράσματά της, σε οποιαδήποτε μορφή, αποτελούν συνιδιοκτησία του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος και του φοιτητή. Οι προαναφερόμενοι διατηρούν το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής (τμηματικά ή συνολικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναφέρεται ο τίτλος, ο συγγραφέας, ο επιβλέπων και το τμήμα του ΔιΠαΕ. Η έγκριση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ο υπογεγραμμένος δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και συγγράφηκε ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Δηλώνω υπεύθυνα ότι κατά τη συγγραφή ακολούθησα την πρόπουσα ακαδημαϊκή δεοντολογία αποφυγής λογοκλοπής και έχω αποφύγει οποιαδήποτε ενέργεια που συνιστά παράπτωμα λογοκλοπής.

Παναγιώτης Κάππας



22/06/2025

Abstract

In this thesis, we look into how printed circuit boards (PCBs) are designed and made, as well as how small components are soldered onto them. We also go through ways to repair electronic boards when they stop working.

The goal is to understand how a PCB can be built, how to solder SMD components, and how to find and fix faults—mainly by focusing on practical work.

Micro soldering is now an important skill for any technician who wants to repair PCBs that are full of SMD parts. From finding the problem to fixing it, knowing how to solder under a microscope is key. This process, known as micro soldering, uses special tools and methods, which are explained in the next chapters.

To cover all this, we first look at the basics of PCB design and production, and the soldering methods available. Then we focus on micro soldering techniques used in modern electronics repair, paying close attention to fault diagnosis and how to deal with different types of issues.

Περίληψη

Σε αυτή τη πτυχιακή εργασία θα μελετήσουμε τη σχεδίαση και κατασκευή πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB), καθώς και τις τεχνικές συγκόλλησης των μικροεξαρτημάτων στην επιφάνεια της αλλά και τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να προσεγγίσουμε την επισκευή των ηλεκτρονικών πλακετών.

Στόχος είναι να δούμε με ποιους τρόπους μπορούμε να κατασκευάσουμε μια πλακέτα, να μελετήσουμε τις τεχνικές συγκόλλησης SMD εξαρτημάτων και των διαδικασιών διάγνωσης και αποκατάστασης βλαβών, με έμφαση στην πρακτική εφαρμογή. Οι μικροσυγκολλήσεις στις μέρες μας είναι μία απαραίτητη δεξιότητα που χρειάζεται να εξασκήσει ένας τεχνικός για να μπορέσει να ολοκληρώσει με επιτυχία μια επισκευή σε PCB όπου υπάρχουν πολλά SMD εξαρτήματα, από τη διάγνωση της βλάβης μέχρι τον τρόπο επίλυσης αυτής.

Ο όρος *microsoldering* (μικροσυγκόλληση) είναι η διαδικασία που ακολουθούμε για να συγκολλήσουμε τα εξαρτήματα στην πλακέτα PCB με τη χρήση μικροσκοπίου. Υπάρχουν αρκετές τεχνικές που χρησιμοποιούνται τις οποίες αναλύουμε και παρουσιάζουμε σε επόμενα κεφάλαια.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, παρουσιάζονται αρχικά οι βασικές αρχές σχεδιασμού και κατασκευής PCB, καθώς και οι διαθέσιμες τεχνολογίες συγκόλλησης. Στη συνέχεια, γίνεται αναλυτική αναφορά στις τεχνικές μικροσυγκόλλησης, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επισκευή όλων των σύγχρονων ηλεκτρονικών συσκευών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις διαδικασίες διάγνωσης βλαβών και στις στρατηγικές επιδιόρθωσης μιας βλάβης.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα του λογισμικού σχεδίασης τυπωμένων κυκλωμάτων Altium Designer για την δωρεάν παραχώρηση άδειας χρήσης του προγράμματος μετά από επικοινωνία μαζί τους. Κατόπιν ενημέρωσής τους ότι το πρόγραμμα θα χρησιμοποιηθεί για την εκπόνηση πτυχιακής εργασίας για το Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του ΔΙ.ΠΑ.Ε. μου παραχωρήθηκε ολοκληρωμένη πρόσβαση μέχρι την ολοκλήρωση αυτής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπον καθηγητή Μιχάλη Κιζήρογλου για την συμβολή του με ποικίλους τρόπους στην διεκπεραίωση της πτυχιακής μου εργασίας όπως την παραχώρηση του εργαστηρίου Ηλεκτρονικής για την συναρμολόγηση και συγκόλληση των πλακετών.

Πίνακας περιεχομένων

Περιεχόμενα

Abstract	3
Περίληψη	4
Ευχαριστίες	5
Πίνακας περιεχομένων	6
Πίνακας περιεχομένων Σχημάτων	7
Πίνακας περιεχομένων Πινάκων	9
Επεξήγηση ακρωνύμων	10
1 Εισαγωγή.....	11
2 Σχεδιασμός και κατασκευή PCB	12
2.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού και στάδια παραγωγής ενός PCB	13
2.2 Υλικά και Τεχνολογίες κατασκευής PCB	17
2.3 Έλεγχος και Δοκιμή των PCB.....	19
3 Τεχνικές Μικροσυγκόλλησης και SMD Assembly	20
3.1 Μέθοδοι συγκόλλησης SMD εξαρτημάτων.....	21
3.2 Χρήση Εργαλείων και Εξοπλισμού	24
4 Κατασκευή Παλμικού οξύμετρου	26
4.1 Εξοπλισμός και αναλώσιμα	36
4.2 Συγκόλληση των εξαρτημάτων οξύμετρου.....	39
4.3 Συγκόλληση των εξαρτημάτων Μικροελεγκτή	61
4.4 Προγραμματισμός Μικροελεγκτή	75
5 Πηγές.....	82

Πίνακας περιεχομένων Σχημάτων

Σχήμα 3.1 - Μύτη Κολλητηριού τύπου K [irepairtools.ir] [5]	22
Σχήμα 4.1 – Αισθητήρας οξυμέτρου MAX30102	26
Σχήμα 4.2 - MAX30102 Διάταξη ακροδεκτών.....	27
Σχήμα 4.3 - LDO AP2127K-1.8 διάταξη ακροδεκτών	28
Σχήμα 4.4 - PPG Altium Design [1]	30
Σχήμα 4.5 - JLCPCB παραγγελία PPG PCB [2].....	31
Σχήμα 4.6 - 3D απεικόνιση PCB από JLCPCB πριν την παραγγελία [2].....	32
Σχήμα 4.7 – Στάδια παραγωγής PCB [2]	33
Σχήμα 4.8 - Προγραμματιστής UART [9]	35
Σχήμα 4.9 - Εξοπλισμός Μικροσυγκολλήσεων	36
Σχήμα 4.10 – PPG συγκόλληση αντιστάσεων SMD	39
Σχήμα 4.11 – PPG συγκόλληση SMD LDO	40
Σχήμα 4.12 – PPG Προετοιμασία πριν τη συγκόλληση SMD πυκνωτών	41
Σχήμα 4.13 – PPG χρήση Flux για τη συγκόλληση SMD εξαρτημάτων.....	42
Σχήμα 4.14 - PPG SMD Συγκόλληση πυκνωτή με κολλητήρι	43
Σχήμα 4.15 - PPG SMD Απόθεση κασσιτέρου με κολλητήρι	44
Σχήμα 4.16 - PPG SMD Ψυχρή κόλληση του πυκνωτή στον αριστερό ακροδέκτη....	45
Σχήμα 4.17 - PPG SMD Capacitor Ψυχρή κόλληση στην επαφή γείωσης (Ground Pad)	46
Σχήμα 4.18 - PPG Ψυχρή κόλληση στην επαφή γείωσης (Άνω όψη)	47
Σχήμα 4.19 - PPG Ψυχρή κόλληση στην επαφή γείωσης του SMD πυκνωτή	47
Σχήμα 4.20 - PPG Διόρθωση ψυχρής κόλλησης του SMD πυκνωτή	49
Σχήμα 4.21 – PPG Συγκόλληση του αισθητήρα MAX30102.....	50
Σχήμα 4.22 – PPG Απόθεση κασσιτέρου στον αισθητήρα MAX30102	51
Σχήμα 4.23 – PPG Απόθεση κασσιτέρου στην πλακέτα για τη συγκόλληση του MAX30102	52
Σχήμα 4.24 – PPG Συγκόλληση MAX30102	53
Σχήμα 4.25 - PPG Σύγκριση μεγέθους με νόμισμα	53
Σχήμα 4.26 - PPG Προετοιμασία πλακέτας για το φούρνο αναθέρμανσης	54
Σχήμα 4.27 - PPG Απόθεση πάστας συγκόλλησης στην πλακέτα.....	55
Σχήμα 4.28 - PPG Τοποθέτηση και ευθυγράμμιση εξαρτημάτων στην πλακέτα	56
Σχήμα 4.29 - PPG Τοποθέτηση πλακέτας στον φούρνο αναθέρμανσης.....	57
Σχήμα 4.30 - PPG Τοποθέτηση πλακέτας στον φούρνο αναθέρμανσης.....	57
Σχήμα 4.31 – Προφίλ Θερμοκρασίας	Σχήμα 4.32 - Προφίλ Θερμοκρασίας ...
Σχήμα 4.33 - Προφίλ Θερμοκρασίας	Σχήμα 4.34 - Προφίλ Θερμοκρασίας
.....	58
Σχήμα 4.35 - Προφίλ Θερμοκρασίας	Σχήμα 4.36 - Προφίλ Θερμοκρασίας
.....	58
Σχήμα 4.37 - PPG Τελικό αποτέλεσμα μετά την αφαίρεση της πλακέτας από το φούρνο αναθέρμανσης	59

Σχήμα 4.38 - PPG Τελικό αποτέλεσμα συγκόλλησης του αισθητήρα MAX30102 με τη χρήση μικροσκοπίου	60
Σχήμα 4.39 - Bluepill Συγκόλληση SMD εξαρτημάτων.....	61
Σχήμα 4.40 - Bluepill SMD Ψυχρή κόλληση αντίστασης 0603	62
Σχήμα 4.41 – Bluepill Διόρθωση ψυχρής κόλλησης της αντίστασης SMD 0603	63
Σχήμα 4.42 - Bluepill Συγκόλληση SMD LED και κρυστάλλου	64
Σχήμα 4.43 - Bluepill Ευθυγράμμιση μικροελεγκτή	65
Σχήμα 4.44 - Bluepill Συγκόλληση μερικών ακροδεκτών για τη σταθεροποίηση του μικροελεγκτή.....	66
Σχήμα 4.45 - Bluepill Συγκόλληση του μικροελεγκτή	67
Σχήμα 4.46 - Bluepill Έλεγχος ποιότητας κολλήσεων μικροελεγκτή στο μικροσκόπιο	68
Σχήμα 4.47 – Bluepill Απόθεση κασσιτέρου κάτω από τη θύρα USB	69
Σχήμα 4.48 – Bluepill βραχυκυκλωμα στους ακροδέκτες της θύρας Micro USB	70
Σχήμα 4.49 - Bluepill Ψυχρή κόλληση ακροδεκτών	71
Σχήμα 4.50 - Bluepill Σύγκριση μεγέθους με νόμισμα	72
Σχήμα 4.51 - Bluepill Τελικό αποτέλεσμα.....	72
Σχήμα 4.52 - PPG Τελικό αποτέλεσμα	73
Σχήμα 4.53 - PCBs Τελικό αποτέλεσμα.....	74
Σχήμα 4.54 - PPG Τελικό αποτέλεσμα	74
Σχήμα 4.55 - Bluepill Διάγραμμα ακροδεκτών [7]	76
Σχήμα 4.56 - STM32Cube Programmer v2.8.0	78
Σχήμα 4.57 - Arduino IDE version: 2.3.6.....	78
Σχήμα 4.58 - Arduino IDE Additional Boards Manager URLs.....	79
Σχήμα 4.59 - Arduino IDE Board Manager For STM32	79
Σχήμα 4.60 - STM32Cube Erase & Programming	80

Πίνακας περιεχομένων Πινάκων

Πίνακας 2.1 - Συγκριτικός πίνακας Aluminum και Flex PCB σύμφωνα με τον προμηθευτή JLCPCB [2]	17
Πίνακας 4.1 - MAX30102 επεξήγηση ακροδεκτών	27
Πίνακας 4.2 - Κωδικοί μεγεθών SMD σε ίντσες και διαστάσει σε mm	29

Επεξήγηση ακρωνύμων

PCB	Printed Circuit Board
SMD	Surface Mounted Device
LDO	Low Dropout Regulator
CNC	Computer Numerical Control
UV	Ultraviolet
HASL	Hot Air Solder Leveling
AVI	Automatic Visual Inspection
THT	Through Hole Technology

1 Εισαγωγή

Σε μία εποχή τεχνολογικού θριάμβου οι αυξανόμενες ανάγκες για μικρότερες αλλά και πιο αποτελεσματικές, περίπλοκες και αξιόπιστες ηλεκτρονικές συσκευές έχουν παίξει σημαντικό ρόλο τόσο στην πρόοδο όσο και στην συντονισμένη ανάπτυξη του τομέα της κατασκευής των πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων PCB και των τεχνικών συγκόλλησης των εξαρτημάτων στην επιφάνεια τους. Τα PCB αποτελούν τον πυρήνα πολλών ηλεκτρονικών συσκευών και όχι μόνο, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στη σύνδεση και σωστή λειτουργία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων με αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα. Τα PCB λοιπόν και οι τεχνική μικροσυγκόλλησης έχουν τεράστια συμβολή στη λειτουργικότητα και την ποιότητα των προϊόντων όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, smartphones, ηλεκτρονικά συστήματα αυτοκινήτων, ιατρικό εξοπλισμό και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, η κατασκευή PCB χρειάζεται λεπτομερή σχεδίαση, προσεκτική επιλογή υλικών που θα χρησιμοποιηθούν όπως επίσης και η συναρμολόγηση και η τεχνική συγκόλλησης αυτών για τη σωστή σύνδεση των εξαρτημάτων και αντοχή στο χρόνο αλλά και στις απαιτούμενες συνθήκες της κάθε συσκευής.

Τα τυπωμένα κυκλώματα (Printed Circuit Boards – PCB) αποτελούν τη βάση της σύγχρονης ηλεκτρονικής. Αποτελούνται από ένα μη αγώγιμο υπόστρωμα (συνήθως υαλοβάμβακα flame retardant 4, FR-4) και ένα ή περισσότερα στρώματα αγώγιμων διαδρομών (Traces), που επιτρέπουν τη σύνδεση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Τα PCB χρησιμοποιούνται σε κάθε είδους συσκευή, από απλά ηλεκτρονικά gadgets έως σύνθετα βιομηχανικά και ιατρικά συστήματα. Ο σωστός σχεδιασμός και η κατασκευή τους είναι κρίσιμη για την αξιοπιστία και την απόδοση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

2 Σχεδιασμός και κατασκευή PCB

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός τυπωμένου κυκλώματος PCB, αποτελεί την βάση κάθε ηλεκτρονικής συσκευής. Στην ανάλυση που θα ακολουθήσει θα παρουσιαστούν οι εξής ενότητες:

- Τα στάδια του σχεδιασμού από το σημείο δημιουργίας του ηλεκτρονικού διαγράμματος (schematic diagram) έως την ολοκλήρωση του σχεδίου τύπωσης (layout) και την εξαγωγή των αρχείων παραγωγής.
- Παρουσίαση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους και τις διάφορες τεχνολογίες παραγωγής, τα στάδια που γίνονται μέχρι την ολοκλήρωση της παραγωγής του τυπωμένου κυκλώματος της πλακέτας.
- Σχεδιασμός και δημιουργία στην πράξη μιας πλακέτας ενός παλμικού οξυμέτρου (Photoplethysmography – PPG sensor)
- Η ανάλυση όλων των βημάτων που ακολουθήθηκαν έτσι ώστε να καταλήξουμε σε μια ολοκληρωμένη πλακέτα.
- Κατασκευή του ελεγκτή για τον αισθητήρα οξυμέτρου και πλήρης αναφορά των σταδίων που ακολουθήθηκαν αλλά και οι δυσκολίες που προέκυψαν κατά την συναρμολόγηση – συγκόλληση των εξαρτημάτων στην πλακέτα.

2.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού και στάδια παραγωγής ενός PCB

Ο σχεδιασμός μιας πλακέτας PCB ξεκινά με τη δημιουργία ενός διαγράμματος συνδεσμολογίας (Schematic), το οποίο καθορίζει τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων. Στη συνέχεια, γίνεται η τοποθέτηση των εξαρτημάτων και η χάραξη των αγωγικών διαδρομών, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των αγωγών, η ορθή δρομολόγηση των σημάτων και η διαχείριση της θερμότητας. Ο σχεδιασμός πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα της βιομηχανίας, όπως το IPC-2221, και να λαμβάνει υπόψη περιορισμούς που αφορούν την παραγωγή, τη συγκόλληση και τον τελικό έλεγχο.

Η κατασκευή ενός PCB περιλαμβάνει διάφορα διαδοχικά στάδια, καθένα από τα οποία είναι κρίσιμο για την ποιότητα και τη λειτουργικότητα της τελικής πλακέτας με την εξής σειρά:

➤ Σχεδιασμός της πλακέτας με Software (Software Design)

Αρχικά, πραγματοποιείται η προετοιμασία των αρχείων σχεδίασης (Gerber files), τα οποία περιλαμβάνουν όλες τις πληροφορίες για τα αγωγή μονοπάτια, τις οπές και τη μάσκα συγκόλλησης. Τα αρχεία αυτά περιλαμβάνουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες που χρειάζεται το εργοστάσιο παραγωγής προκειμένου να μας δώσει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο σχεδιασμός γίνεται σε ειδικό σχεδιαστικό software όπως το Altium Designer [1] όπου είναι το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση και των δικών μας project.

➤ Έλεγχος υλικών (MI - Material Inspection)

Αυτό είναι το πρώτο στάδιο όπου γίνεται έλεγχος των αρχείων, έλεγχος των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, πρώτες ύλες – συνήθως φύλλα FR-4, και μας εξασφαλίζει πως τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν είναι κατάλληλα πριν ξεκινήσει η διεργασία. Θα πρέπει να έχουν λεία επιφάνεια και να είναι στο σωστό πάχος, όπως και να μην έχουν γρατζουνιές ή παραμορφώσεις.

➤ Διάτρηση οπών (Drilling)

Εδώ δημιουργούνται οι οπές (vias) που θα ενώνουν τα διαφορετικά στρώματα χαλκού της πλακέτας ή οι οπές για την τοποθέτηση των εξαρτημάτων διαμπερών οπών (through hole components). Η διάτρηση γίνεται με Computer Numerical Control (CNC) μηχανές υψηλής ακρίβειας και είναι πολύ σημαντικό οι οπές να είναι καθαρές για να μπορέσει να προχωρήσει στην επόμενη φάση.

➤ **Επικάλυψη οπών με χαλκό (Copper Deposition)**

Αφού γίνουν οι οπές, γίνεται μια διαδικασία επικάλυψης αυτών με λεπτό στρώμα χαλκού έτσι ώστε να γίνει η ηλεκτρική σύνδεση στο σημείο του επάνω layer της πλακέτας με το κάτω.

➤ **Απόθεση σχεδίου (Image the Outer Layers)**

Σε αυτό το στάδιο, γίνεται η χάραξη του κυκλώματος επάνω στην πλακέτα. Εφαρμόζεται φωτοευαίσθητο υλικό, γίνεται έκθεση σε Ultraviolet UV φως με μια λεπτή μάσκα επάνω από την πλακέτα όπου βρίσκεται το σχέδιο του κυκλώματος και μετά την έκθεση του σε UV σχηματίζονται οι αγωγίμες διαδρομές.

➤ **Ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση σχεδίου (Pattern Plating)**

Αυτό που έχει αποτυπωθεί με το φωτοευαίσθητο υλικό ενισχύεται με περισσότερο χαλκό μέσω ηλεκτροχημικής απόθεσης έτσι ώστε να έχει το απαραίτητο πάχος σύμφωνα με τις απαιτήσεις ρεύματος της κάθε διαδρομής.

➤ **Αυτόματος οπτικός έλεγχος (AOI – Automatic Optical Inspection)**

Γίνεται αυτόματος οπτικός έλεγχος για την ποιότητα του αποτελέσματος και του τυπωμένου κυκλώματος για τυχόν αστοχίες και συγκρίνεται το αποτέλεσμα με βάση το αρχικό αρχείο του σχεδίου της πλακέτας (Gerber File).

➤ **Εφαρμογή μάσκας συγκόλλησης (Solder Mask)**

Αυτή είναι η χαρακτηριστική πράσινη (ή και άλλου χρώματος) στρώση που καλύπτει την πλακέτα. Προστατεύει τις διαδρομές από βραχυκυκλώματα και οξείδωση και αφήνει ακάλυπτα μόνο τα σημεία όπου θα κολληθούν εξαρτήματα. Επίσης βοηθά στο να αποφευχθούν λάθη κατά τη συγκόλληση των εξαρτημάτων.

➤ **Μεταξοτυπία (Silkscreen)**

Προστίθεται το κείμενο πάνω στην πλακέτα, όπως αριθμοί, γράμματα, λογότυπα, σημάδια αναφοράς για τα εξαρτήματα κ.λπ. Είναι πολύ χρήσιμη στην παραγωγή και στις επισκευές, γιατί δίνει πληροφορίες και για τον προσανατολισμό των εξαρτημάτων.

➤ **Επικασσιτέρωση με εμβάπτιση (Hot Air Solder Leveling (HASL))**

Η πλακέτα βυθίζεται σε καυτό λιωμένο κασσίτερο, και στη συνέχεια περνά από ρεύμα καυτού αέρα που αφαιρεί τον περιττό κασσίτερο. Έτσι, στα σημεία που προορίζονται για κόλληση, παραμένει ένα ομοιόμορφο στρώμα που βοηθά στην εύκολη και καθαρή συγκόλληση των εξαρτημάτων και προστατεύεται ο χαλκός από οξείδωση. Πρόκειται για το λεγόμενο γάνωμα των επαφών και η επιφάνεια των κολλήσεων είναι έτοιμη να δεχτεί τα εξαρτήματα προς κόλληση.

➤ **Αυτόματος οπτικός τελικός έλεγχος (Automatic Visual Inspection (AVI))**

Γίνεται ακόμη ένας οπτικός αυτόματος έλεγχος της πλακέτας για παραμορφώσεις, βραχυκυκλώματα, ελλείψεις στη μάσκα κλπ. Είναι ένας δεύτερος έλεγχος για το τελικό αποτέλεσμα.

➤ **Ηλεκτρικός έλεγχος (Electrical Test)**

Πριν θεωρηθεί έτοιμη, κάθε πλακέτα δοκιμάζεται ηλεκτρικά. Ελέγχεται αν οι διαδρομές είναι συνεχείς, αν υπάρχουν βραχυκυκλώματα ή αποκομμένες γραμμές.

➤ **Διαμόρφωση σχήματος και χάραξη (Profiling, V-cut scoring)**

Η πλακέτα παίρνει το τελικό της σχήμα. Αν είναι μέρος ενός πάνελ με πολλές ίδιες μικρότερες πλακέτες, τότε γίνεται χάραξη (V-cut) για να μπορεί να σπάσει εύκολα στη γραμμή κοπής.

➤ **Χάραξη V (V-Cut)**

Σε αυτό το στάδιο, γίνεται το τελικό κόψιμο των PCB εφόσον έχουν χαραχθεί τα σημεία που πρέπει να αποκοπεί.

➤ Τελικός έλεγχος ποιότητας (Final Inspection)

Γίνεται ένας τελευταίος έλεγχος ποιότητας – τόσο με μηχανές όσο και με το ανθρώπινο μάτι. Ελέγχονται διαστάσεις, εμφάνιση, καθαρότητα, τυχόν υπολείμματα ή σκόνες, και αν όλα είναι σωστά, η πλακέτα θεωρείται έτοιμη.

➤ Μεταφορά από εργαστήριο σε αποθήκη (From Workshop to Warehouse)

Οι έτοιμες πλακέτες καθαρίζονται, τοποθετούνται σε αντιστατικά σακουλάκια και συσκευάζονται. Κάποιες θα πάνε για άμεση συναρμολόγηση, άλλες θα μπουν στην αποθήκη. Είναι το τελευταίο βήμα πριν φτάσουν στον πελάτη ή στον τεχνικό για τοποθέτηση εξαρτημάτων.

2.2 Υλικά και Τεχνολογίες κατασκευής PCB

Οι πλακέτες PCB κατασκευάζονται από υλικά υψηλής αντοχής, όπως το FR-4, το οποίο αποτελείται από υαλονήματα και εποξειδική ρητίνη, παρέχοντας εξαιρετική μόνωση και μηχανική σταθερότητα. Άλλα υλικά, όπως το Aluminum PCB και το Flex PCB, χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως στον φωτισμό LED και στις φορητές συσκευές. Μερικές εφαρμογές του Aluminum PCB είναι: Led φωτισμός, τροφοδοτικά ισχύος, προβολείς ή spots, και οτιδήποτε έχει μεγάλες απαιτήσεις ψύξης.

Αντίθετα, τα flex PCB, δεν προορίζονται για χρήση απαιτητικών σε ψύξη κυκλωμάτων αλλά μπορούν να βρουν εφαρμογή σε εφαρμογές που απαιτείται ευκαμψία, υπάρχει έλλειψη χώρου ή πρέπει να μπορεί να διπλώσει μέσα σε μηχανικά κινούμενα μέρη και έχουν πολύ μικρότερο βάρος. Ενδεικτικά, μπορούμε να προμηθευτούμε Aluminum και Flex PCB από JLCPCB [2], PCBWAY [3] και ALLPCB [4].

Τύπος PCB	Aluminum PCB (100×100 mm), 1.6mm PCB Thickness	Flex PCB (100×100 mm) , 0.11mm PCB Thickness
Υλικό	Αλουμίνιο	Πολυϊμίδιο (PI)
Πλεονεκτήματα	Εξαιρετική θερμική απαγωγή, καλή σχεδίαση ισχύος	Ευκαμψία, πολύ μικρό βάρος
Μειονεκτήματα	Βαρύτερο και ογκώδες	Ακριβότερο, λιγότερη αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία
Ενδεικτική τιμή (10 TMX)	8,5€	21€
Εκτιμώμενο βάρος g / cm ²	0,58 g	0,28 g

Πίνακας 2.1 - Συγκριτικός πίνακας Aluminum και Flex PCB σύμφωνα με τον προμηθευτή JLCPCB [2]

Η κατασκευή των PCB περιλαμβάνει τεχνολογίες όπως η μέθοδος απόθεσης χαλκού, η φωτολιθογραφία και η χημική χάραξη, επιτρέποντας τη δημιουργία αγωγίμων διαδρομών με υψηλή ακρίβεια.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των PCB αποτελούν κρίσιμες διαδικασίες για τη βιομηχανία των ηλεκτρονικών, καθώς επηρεάζουν άμεσα την απόδοση, την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία των συσκευών. Η τεχνολογία των PCB εξελίσσεται συνεχώς, με νέες τεχνικές παραγωγής και δοκιμών να ενισχύουν την ακρίβεια και τη λειτουργικότητα των πλακετών.

Η επιλογή κατάλληλων υλικών, η σωστή εφαρμογή των κανόνων σχεδίασης και η τήρηση των προτύπων κατασκευής εξασφαλίζουν την ποιότητα των PCB. Ο ποιοτικός έλεγχος παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς ανιχνεύει και διορθώνει πιθανές ατέλειες πριν τη μαζική παραγωγή.

2.3 Έλεγχος και Δοκιμή των PCB

Ο ποιοτικός έλεγχος των PCB είναι απαραίτητος για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία των κυκλωμάτων και η αξιοπιστία της κατασκευής. Οι βασικές δοκιμές περιλαμβάνουν τον οπτικό έλεγχο, όπου χρησιμοποιούνται μικροσκόπια και αυτόματα οπτικά συστήματα επιθεώρησης (AOI) για την ανίχνευση ατελειών, όπως κακοσχεδιασμένες αγωγίμες διαδρομές, βραχυκυκλώματα ή ψευδοεπαφές.

Ένα ακόμη σημαντικό τεστ είναι ο ηλεκτρικός έλεγχος (Flying Probe Test ή Bed of Nails Test), όπου μια σειρά από ακίδες ελέγχει τη συνέχεια των κυκλωμάτων, ανιχνεύοντας διακοπές ή ανεπιθύμητες συνδέσεις. Σε πιο σύνθετα PCB, χρησιμοποιείται έλεγχος με ακτίνες X, ιδιαίτερα σε πολυστρωματικές πλακέτες, όπου είναι δύσκολο να ανιχνευθούν προβλήματα με άλλες μεθόδους.

Για τις πλακέτες που προορίζονται για απαιτητικές εφαρμογές, όπως η αεροδιαστημική και η ιατρική τεχνολογία, διεξάγονται επιπλέον δοκιμές αντοχής, όπως θερμικοί κύκλοι και δοκιμές υγρασίας, για να διασφαλιστεί ότι το PCB μπορεί να λειτουργήσει αξιόπιστα σε ακραίες συνθήκες.

3 Τεχνικές Μικροσυγκόλλησης και SMD Assembly

Οι πλακέτες τύπου SMD, έχουν αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό την παραδοσιακή Through-Hole Technology – THT, χάρη στη δυνατότητα δημιουργίας μικρότερων και αποδοτικότερων ηλεκτρονικών συσκευών. Τα εξαρτήματα επιφανειακής στήριξης λόγω του μικρού μεγέθους τους και του τρόπου εφαρμογής επάνω στην πλακέτα μας επιτρέπουν να έχουμε εξαρτήματα και στις δύο όψεις ενός PCB αλλά και να υπάρχουν ενδιάμεσα στρώματα (Layers) σε μια πλακέτα όπου θα υπάρχουν περισσότερες διασυνδέσεις μεταξύ των υλικών. Επιπλέον, το ύψος των υλικών είναι σαφώς χαμηλότερο και αυτό μας επιτρέπει την στήριξη μιας πλακέτας επάνω στην άλλη με τη χρήση ενός αποστάτη ο οποίος κάνει και τη σύνδεση της μιας πλακέτας με την άλλη, όπως για παράδειγμα στα σύγχρονα smartphones.

Οι μικροσυγκολλήσεις αποτελούν μια εξειδικευμένη τεχνική συγκόλλησης που χρησιμοποιείται για την επισκευή ή αντικατάσταση SMD εξαρτημάτων, τα οποία είναι εξαιρετικά μικρά και απαιτούν υψηλή ακρίβεια. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επισκευή σύγχρονων ηλεκτρονικών συσκευών, όπως κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές και κονσόλες παιχνιδιών. Η επιτυχής εφαρμογή των τεχνικών μικροσυγκολλήσεων βασίζεται στη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, όπως κολλητήρια ακριβείας, σταθμοί θερμού αέρα (hot air stations) και φούρνοι αναθέρμανσης (reflow ovens), καθώς και στη σωστή κατανόηση των μεθόδων συγκόλλησης και αποκόλλησης εξαρτημάτων.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθούν οι κύριες μέθοδοι συγκόλλησης SMD εξαρτημάτων, η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων και τεχνικών, καθώς και οι διαδικασίες αποκόλλησης και αντικατάστασης εξαρτημάτων σε ηλεκτρονικές πλακέτες.

3.1 Μέθοδοι συγκόλλησης SMD εξαρτημάτων

Η συγκόλληση των SMD εξαρτημάτων μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους, ανάλογα με το είδος του εξαρτήματος, το διαθέσιμο εξοπλισμό και την απαιτούμενη ακρίβεια. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη συγκόλληση με κολλητήρι, τη χρήση θερμού αέρα και τη μέθοδο reflow, όπου η συγκόλληση επιτυγχάνεται με την ελεγχόμενη θέρμανση μιας πάστας συγκόλλησης (Solder Paste).

Η χειροκίνητη συγκόλληση με κολλητήρι εφαρμόζεται κυρίως σε μικρά επισκευαστικά έργα και απαιτεί σταθερό χέρι και εμπειρία. Χρησιμοποιείται λεπτή μύτη κολλητηριού για την ακριβή τοποθέτηση της συγκόλλησης στα μικροσκοπικά pads των εξαρτημάτων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, πως η πολύ λεπτή μύτη ενός κολλητηριού δεν είναι πάντα η καλύτερη επιλογή καθώς θα πρέπει το σημείο της συγκόλλησης να έρθει στη θερμοκρασία τήξης του υλικού κόλλησης (solder wire ή solder paste) οπότε σε κάθε εργασία προσπαθούμε να δουλέψουμε με την μεγαλύτερη δυνατή μύτη στο στέλεχος του σταθμού κόλλησης. Πολλές φορές είναι αρκετά βοηθητικό να χρησιμοποιούμε μύτες οι οποίες έχουν μεγάλη επιφάνεια αλλά έχουν μυτερή άκρη, έτσι ώστε η μεγάλη επιφάνεια της μύτης να έρχεται σε επαφή με την πλακέτα και μόνο η λεπτή άκρη της μύτης να αγγίζει το σημείο της κόλλησης. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνουμε την μετάδοση της θερμοκρασίας της μύτης στο χαλκό της πλακέτας και έτσι η κόλληση γίνεται πιο εύκολα και με την κατάλληλη θερμοκρασία. Αν η πλακέτα και ο ακροδέκτης δεν έρθει στη θερμοκρασία τήξης του κασσιτέρου, τότε μπορεί να έχουμε την λεγόμενη ψυχρή κόλληση. Μια ψυχρή κόλληση, μπορεί εκ πρώτης όψεως να φαίνεται υγιής, αν όμως πλησιάσουμε με μικροσκόπιο θα δούμε πως ενώ στον ακροδέκτη του εξαρτήματος έχει αγκαλιάσει την επιφάνεια του, στην πλευρά της πλακέτας ίσως να μην έχει απλωθεί με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η αγωγιμότητα που θέλουμε. Μία πολύ βοηθητική μύτη είναι αυτή στο Σχήμα 3.1 - Μύτη Κολλητηριού τύπου K [irepairtools.ir]. Η μεγάλη επιφάνεια της αλλά και λεπτή μύτη στην άκρη της επιτρέπει να κολλάει πολύ μεγάλους και απαιτητικούς ακροδέκτες όπως αυτοί της γείωσης αλλά δίνει και τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και για πολύ μικρότερες κολλήσεις λόγω του μυτερού σχήματος της.



Σχήμα 3.1 - Μύτη Κολλητηριού τύπου K [irepairtools.ir] [5]

Βλέπουμε επίσης πως στο «λαιμό» της μύτης, υπάρχει ένα κομμάτι με μεγαλύτερη διάμετρο, σαν «βαρελάκι» οποίο βοηθάει πολύ στην αποθήκευση της θερμοκρασίας έτσι ώστε να έχει γίνεται καλύτερη μεταφορά της στο σημείο της κόλλησης.

Η συγκόλληση με θερμό αέρα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για εξαρτήματα με πολλαπλές ακίδες, όπως οι μικροεπεξεργαστές και οι ελεγκτές μνήμης. Η διαδικασία περιλαμβάνει την ομοιόμορφη θέρμανση της περιοχής με τη χρήση σταθμού θερμού αέρα, μέχρι η συγκόλληση να λιώσει και να επιτευχθεί η σωστή σύνδεση.

Οι φούρνοι αναθέρμανσης, reflow ovens αποτελεί τη βασική μέθοδο για τη μαζική παραγωγή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Στη διαδικασία αυτή, το PCB καλύπτεται με Solder Paste μόνο στα σημεία που πρέπει να γίνει η συγκόλληση. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούμε στένσιλ (Stencil) τα οποία είναι πολύ λεπτές μεταλλικές επιφάνειες με οπές στα σημεία που πρέπει να τοποθετηθεί πάστα συγκόλλησης. Έπειτα τα εξαρτήματα τοποθετούνται στις αντίστοιχες θέσεις και στη συνέχεια η πλακέτα

εισέρχεται σε φούρνο αναθέρμανσης όπου η θερμοκρασία αυξάνεται προοδευτικά μέχρι να λιώσει η συγκόλληση. Η μέθοδος αυτή διασφαλίζει ομοιόμορφη συγκόλληση και μειώνει το ενδεχόμενο ελαττωματικών συνδέσεων.

3.2 Χρήση Εργαλείων και Εξοπλισμού

Η αποτελεσματικότητα των τεχνικών μικροσυγκολλήσεων εξαρτάται άμεσα από την ορθή χρήση εξειδικευμένων εργαλείων. Το κολλητήρι είναι ένα από τα βασικότερα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη χειροκίνητη συγκόλληση, επιτρέποντας την ακριβή τοποθέτηση της συγκόλλησης με ελεγχόμενη θερμοκρασία.

Για τις συγκολλήσεις σε πολύ μικρές πλακέτες με SMD εξαρτήματα μικρού μεγέθους, επιλέγουμε σταθμούς κόλλησης με ελεγχόμενη θερμοκρασία στη μύτη του στελέχους με ακρίβεια, έτσι ώστε να μπορεί ο χρήστης να επιλέξει την επιθυμητή θερμοκρασία ανάλογα με το υλικό που θα εργαστεί, το πάχος της πλακέτας και την θερμοχωρητικότητα που έχει. Αν για παράδειγμα θέλουμε να κολλήσουμε ένα εξάρτημα σε ένα Flex PCB (εύκαμπτη πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος), επιλέγουμε χαμηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με μια πλακέτα όπου έχει μεγάλης διατομής χαλκό ή μεγάλες επαφές γείωσης (ground pad). Ο σταθμός λοιπόν, κάνει την διόρθωση της θερμοκρασίας σύμφωνα με την επιλογή που έχουμε ορίσει και αν αυτή πέσει απότομα (επειδή αγγίξαμε την πλακέτα ή το εξάρτημα) τότε ο ελεγκτής θα προσπαθήσει να την ανεβάσει ξανά δίνοντας κοντά στο 100% της ισχύς του.

Επίσης, στους επαγγελματικούς σταθμούς κόλλησης, η αντίσταση βρίσκεται πολύ κοντά στο σημείο της κόλλησης όπως και ο αισθητήρας θερμοκρασίας για να επιτυγχάνει σε γρήγορο χρόνο την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας στην άκρη του.

Ο σταθμός θερμού αέρα είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την τοποθέτηση και την αποκόλληση εξαρτημάτων με πολλές ακίδες, καθώς επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας. Τα BGA ολοκληρωμένα (Ball Grid Array) είναι τύπος ολοκληρωμένου κυκλώματος που έχει τις επαφές του σε μορφή μικρών μπιλιών καλάι στο κάτω μέρος, αντί για ακροδέκτες γύρω από το περίβλημα. Έτσι επιτρέπει περισσότερες συνδέσεις και καλύτερη απόδοση, αλλά χρειάζεται ειδικό εξοπλισμό για συγκόλληση. Οι συνδέσεις δεν είναι εμφανείς, οπότε είναι απαραίτητη η χρήση θερμού αέρα για τη συγκόλληση και αποσυγκόλληση επίσης. Έχουμε πάλι έλεγχο της θερμοκρασίας όπως και στο σταθμό κόλλησης, για τον ίδιο λόγο. Άλλη θερμοκρασία θα επιλέξουμε για να συγκολλήσουμε ένα ολοκληρωμένο σε flex, πιο χαμηλή, και σε πλακέτες όπου έχουν μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα πιο υψηλή.

Εκτός από τη θερμοκρασία, στο σταθμό θερμού αέρα, έχουμε τη δυνατότητα ρυθμίσουμε και τη ροή αέρα. Σε πλακέτες υψηλών απαιτήσεων θερμοκρασίας, θα χρειαστούμε υψηλότερη θερμοκρασία αλλά και ροή αέρα. Τι γίνεται όμως όταν θέλουμε να κολλήσουμε κάποιο ευαίσθητο εξάρτημα όπου έχει πλαστικά μέρη τα οποία δεν πρέπει να εκτεθούν σε υψηλή θερμοκρασία αλλά πρέπει να μπορέσει να φτάσει το σημείο κόλλησης σε θερμοκρασία του σημείου τήξης και λίγο παραπάνω.. Όταν έχουμε να διαχειριστούμε μια τέτοια περίπτωση, πάντα επιλέγουμε την χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία αλλά και η ροή αέρα παίζει καθοριστικό ρόλο. Αν δεν θέλουμε να

καταστρέψουμε τα πλαστικά μέρη ενός εξαρτήματος, η ροή αέρα θα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή καθώς έχουμε παρατηρήσει πως ακόμη και με υψηλή θερμοκρασία, διατηρώντας τη ροή του αέρα σε χαμηλά επίπεδα το υλικό δεν παραμορφώνεται και δεν καταστρέφεται.

Όταν κάνουμε χρήση του σταθμού θερμού αέρα, πρέπει πάντα να θυμόμαστε πως ο ζεστός αέρας όπου εφαρμόζουμε στην περιοχή, θα επηρεάσει και τα εξαρτήματα γύρω του. Πάντα λοιπόν, όταν έχουμε να κάνουμε μια εργασία σε μια πλακέτα και πρέπει να αφαιρεθεί ένα εξάρτημα με θερμό αέρα ενώ κρίνεται αναγκαίο να εξετάσουμε και να επιλέξουμε την κλίση που θα δώσουμε στον αέρα έτσι ώστε να αποφύγουμε να καταστρέψουμε κάποιο πλαστικό connector ή κάποιον αισθητήρα. Πολύ συχνά, στις επισκευές χρησιμοποιούμε τον θερμό αέρα για να αφαιρέσουμε ένα εξάρτημα με πολλούς ακροδέκτες έτσι ώστε να γίνει ταυτόχρονη τήξη της κόλλησης για να μπορέσουμε να απομακρύνουμε το εξάρτημα, και αυτό με την μέγιστη ταχύτητα έτσι ώστε να μην εκθέσουμε την πλακέτα σε υψηλή θερμοκρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Όταν καθαρίσουμε την περιοχή από την παλιά κόλληση και έρθει η ώρα να τοποθετηθεί το νέο εξάρτημα, συχνά επιλέγουμε να το κάνουμε με το σταθμό κόλλησης αν αυτό είναι δυνατόν (για παράδειγμα στις θύρες φόρτισης type-c κινητών ή ολοκληρωμένα όπου έχουν ακροδέκτες περιφερειακά του chip και όχι BGA)

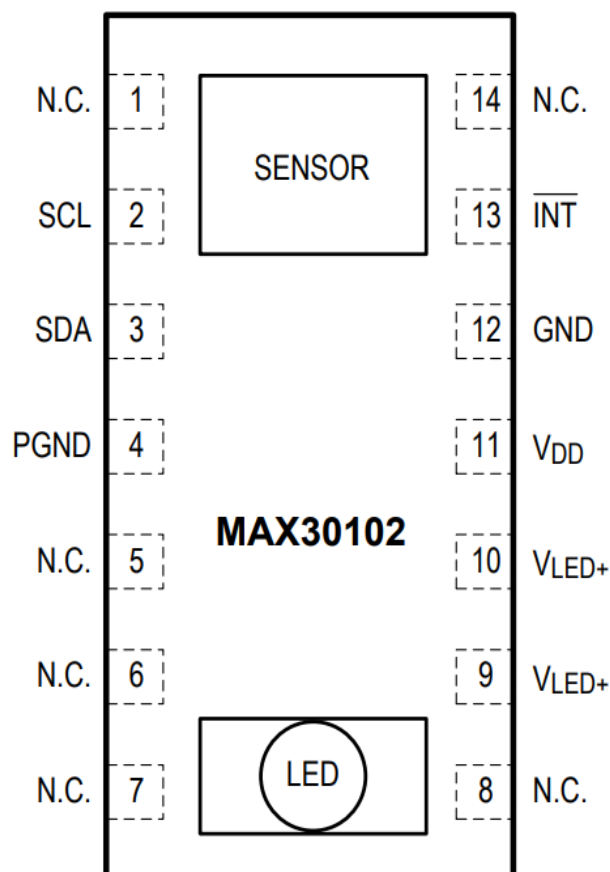
Ο σταθμός reflow oven χρησιμοποιείται κυρίως στη μαζική παραγωγή και επισκευή πλακετών, καθώς επιτρέπει την αναθέρμανση της solder paste με ακρίβεια, διασφαλίζοντας τη σωστή τοποθέτηση των εξαρτημάτων. Παράλληλα, η χρήση Flux βοηθά στη μείωση των οξειδώσεων και βελτιώνει τη ροή της συγκόλλησης, ενώ το μικροσκόπιο επισκευών παρέχει τη δυνατότητα λεπτομερούς επιθεώρησης των συγκολλήσεων, κρίσιμη για την αποφυγή ψυχρών κολλήσεων και βραχυκυκλωμάτων. Ο ρευστοποιητής, ή αλλιώς όπως είναι κοινώς διαδεδομένο Flux, χρησιμοποιείται κυρίως για τον καθαρισμό των επαφών συγκόλλησης κατά τη διάρκεια της κόλλησης. Πολλές φορές το συναντάμε και ως αλοιφή συγκόλλησης ή αλοιφή χαλκού.

4 Κατασκευή Παλμικού οξύμετρου

Ας δούμε αναλυτικά τα βήματα για τη δημιουργία ενός παλμικού οξύμετρου. Αρχικά θα χρησιμοποιήσουμε τον αισθητήρα MAX30102 της εταιρίας Maxim Integrated όπου είναι σχεδιασμένος για τη μέτρηση καρδιακών παλμών και επιπέδων οξυγόνου στο αίμα. Περιέχει ένα κόκκινο LED και ένα υπέρυθρο LED. Διαθέτει φωτοανιχνευτή που ανιχνεύει το φως που απορροφάται ή ανακλάται στο αίμα.



Σχήμα 4.1 – Αισθητήρας οξυμέτρου MAX30102



Σχήμα 4.2 - MAX30102 Διάταξη ακροδεκτών

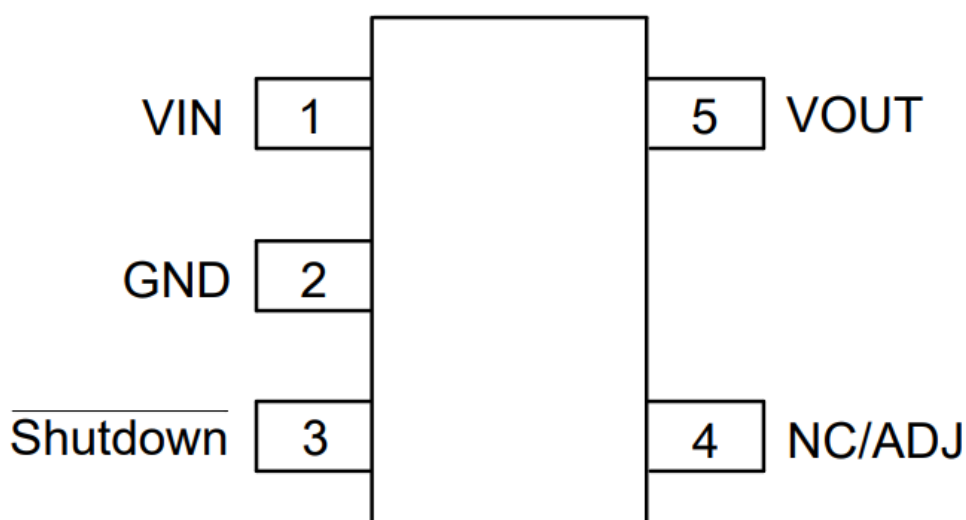
ΑΡΙΘΜΟΣ PIN	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
1,5,6,7,8,14	N.C	Χωρίς σύνδεση (Not Connected)
2	SCL	Είσοδος σήματος ρολογιού για πρωτόκολλο I2C
3	SDA	Γραμμή δεδομένων I2C, αμφίδρομη
4	PGND	Γείωση των LED
9	VLED+	Τροφοδοσία για LED 3.3V
10	VLED+	Τροφοδοσία για LED3.3V
11	VDD	Τροφοδοσία αισθητήρα 1.8V
12	GND	Γείωση
13	$\overline{\text{INT}}$	Διακοπή ενεργοποίησης με λογικό 0. Για τη λειτουργία θα χρειαστεί Pull Up αντίσταση

Πίνακας 4.1 - MAX30102 επεξήγηση ακροδεκτών

Για την τροφοδοσία του αισθητήρα, επιλέχθηκε ο LDO Regulator στα 1.8V Fixed Voltage AP2127K-1.8. Ο LDO είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα τροφοδοσίας όπου

στην είσοδο του έχει μια υψηλότερη τάση (στην περίπτωση μας θα είναι 3,3 Volt) και στην έξοδο του μας δίνει σταθερή τάση στα 1,8 Volt όπου είναι και η προτεινόμενη τάση για την τροφοδοσία του αισθητήρα.

(Top View)



SOT-23-5

Σχήμα 4.3 - LDO AP2127K-1.8 διάταξη ακροδεκτών

Η τροφοδοσία της πλακέτας του αισθητήρα επιλέχθηκε να είναι 3,3 Volt. Ο λόγος που δεν επιλέχθηκε να είναι 5 Volt ή μεγαλύτερη είναι γιατί τα 3,3 Volt είναι η προτεινόμενη τάση για την τροφοδοσία των Led του αισθητήρα αλλά είναι και αρκετή για να τροφοδοτήσει τον LDO Regulator όπου σύμφωνα με τον κατασκευαστή, η τάση που τροφοδοτείται πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 Volt περισσότερο από την έξοδο. Αν χρησιμοποιούσαμε VDD στα 5 Volt θα έπρεπε να βάλουμε ακόμη έναν LDO στα 3,3 Volt για να τροφοδοτήσουμε τα LED του αισθητήρα.

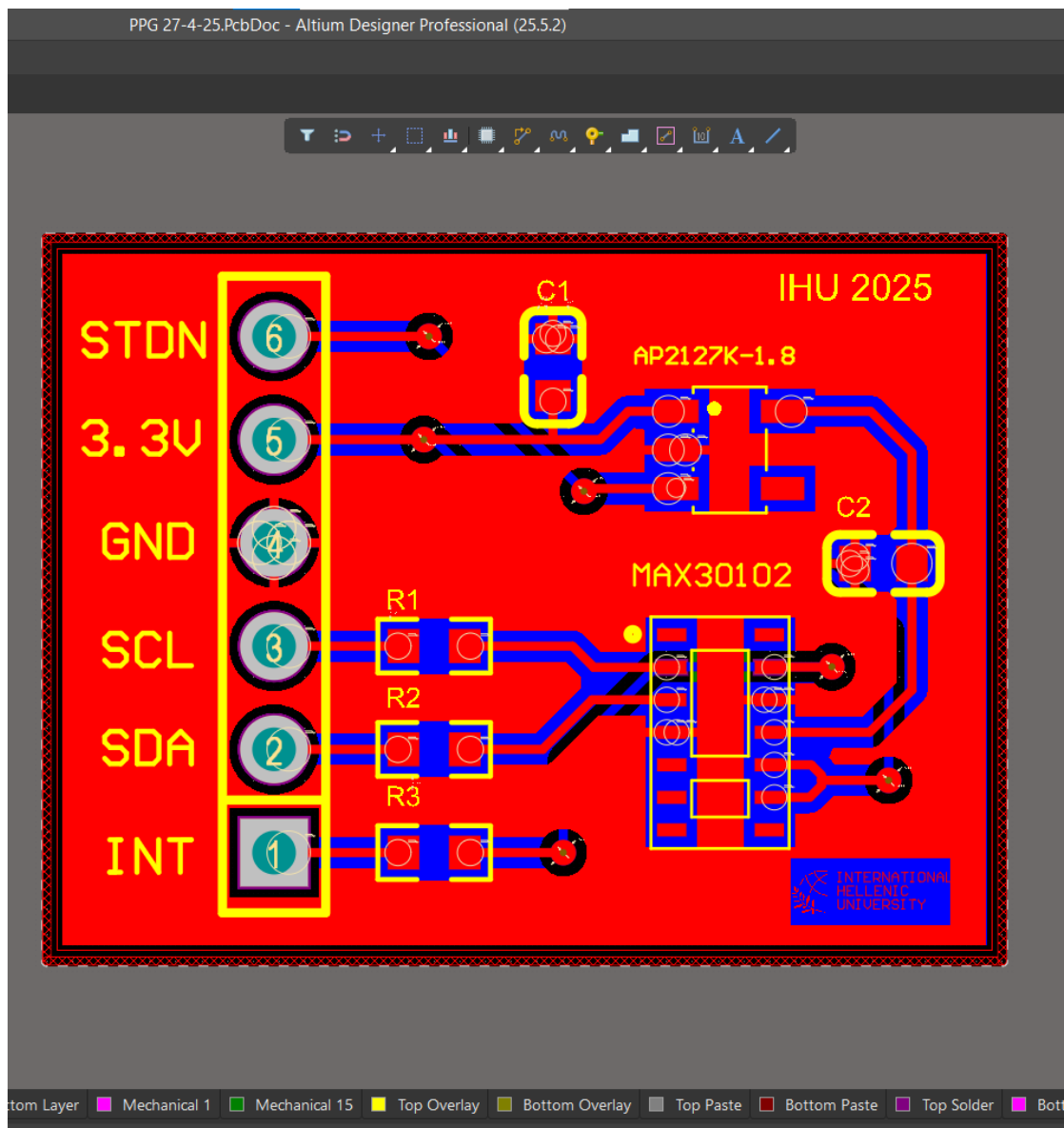
Για την επικοινωνία με τον μικροελεγκτή χρησιμοποιεί πρωτόκολλο I2C και για το λόγο αυτό έχουν τοποθετηθεί αντιστάσεις 10K στους ακροδέκτες SCL,SDA και EXT του αισθητήρα. Οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πλακέτας είναι της κλίμακας 0603. Στον Πίνακα 4.2 - Κωδικοί μεγεθών SMD σε ίντσες και διαστάσει σε mm μπορούμε να δούμε κάποια από τα πιο διαδεδομένα μεγέθη εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε ηλεκτρονικές συσκευές.

Κωδικός SMD (ίντσες)	Διαστάσεις (mm)
0402	1.0 × 0.5
0603	1.6 × 0.8
0805	2.0 × 1.25
1206	3.2 × 1.6
1210	3.2 × 2.5

Πίνακας 4.2 - Κωδικοί μεγεθών SMD σε ίντσες και διαστάσει σε mm

Ο σχεδιασμός της πλακέτας έγινε στο σχεδιαστικό Software Altium Designer όπου μου παραχωρήθηκε δωρεάν επαγγελματική άδεια χρήσης για την εκπόνηση της πτυχιακής αυτής μετά από επικοινωνία μαζί τους.

Για το σχεδιασμό της πλακέτας αρχικά τοποθετήθηκαν όλα τα υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε και σχεδιάστηκαν οι γραμμές και οι συνδέσεις του κυκλώματος. Επίσης, έχει γίνει επικάλυψη της πλακέτας με Ground Pad για την ψύξη της πλακέτας αλλά και την αποφυγή παρεμβολών. Έτσι θα έχουμε πιο ακριβή μέτρηση στο παλμικό οξύμετρο.

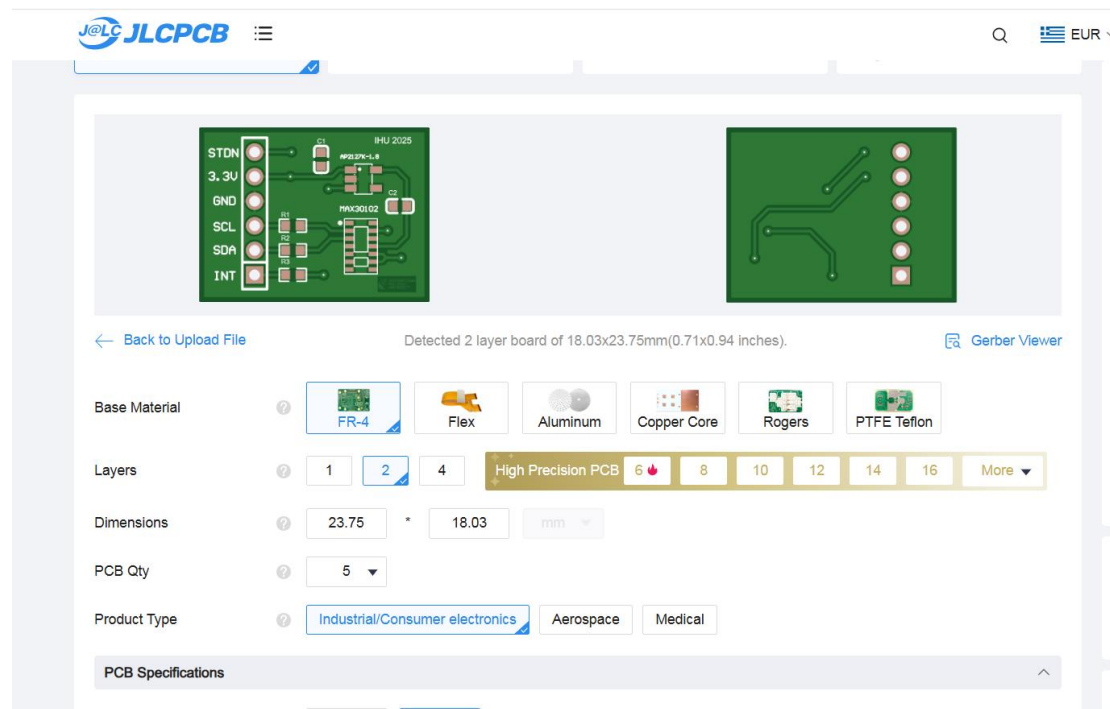


Σχήμα 4.4 - PPG Altium Design [1]

Έχει γίνει επιλογή των παρακάτω υλικών:

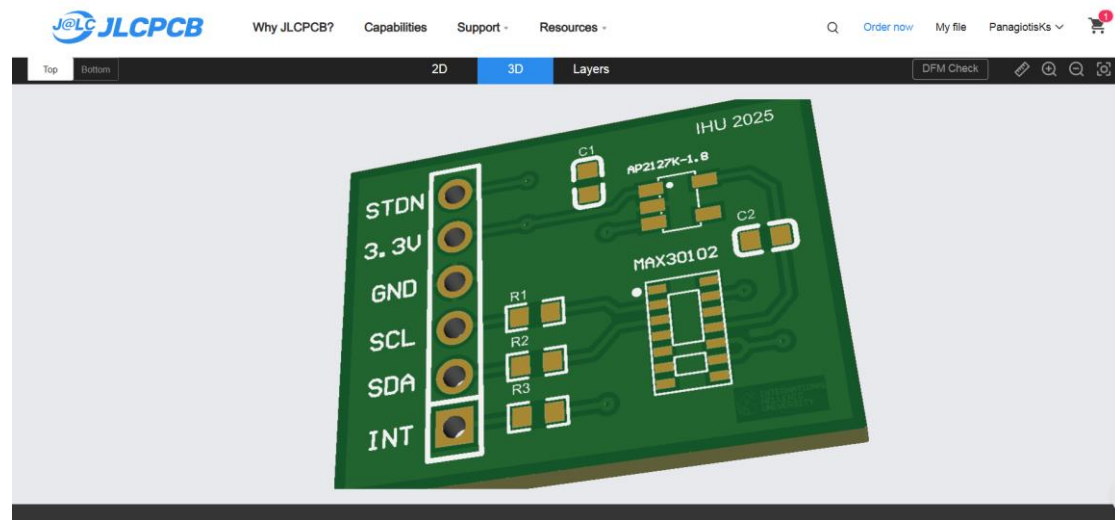
R1	10Kohm
R2	10Kohm
R3	10Kohm
C1	1uF
C2	1uF
Sensor	MAX30102
LDO Regulator	AP2127K-1.8

Μόλις φτάσουμε στην τελική μορφή της πλακέτας, πριν γίνει η παραγγελία μας δίνεται η δυνατότητα να την δούμε σε 3D μορφή αφού κάνουμε δημιουργία Gerber Files στο Altium. Δημιουργώντας λογαριασμό στην ιστοσελίδα JLCPCB όπου μπορούμε να παραγγείλουμε την πλακέτα, ανεβάζουμε τα Gerber Files και μπορούμε να δούμε online την τελική της μορφή αλλά και να επιλέξουμε υλικό, πάχος χρώμα κλπ.



Σχήμα 4.5 - JLCPCB παραγγελία PPG PCB [2]

Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα ελέγχου τις πλακέτας για τυχόν αστοχίες στο σχεδιασμό ή παραλήψεις. Εκεί μπορούμε να δούμε και την μορφή της πλακέτας σε 3D πριν την παραγγελία.



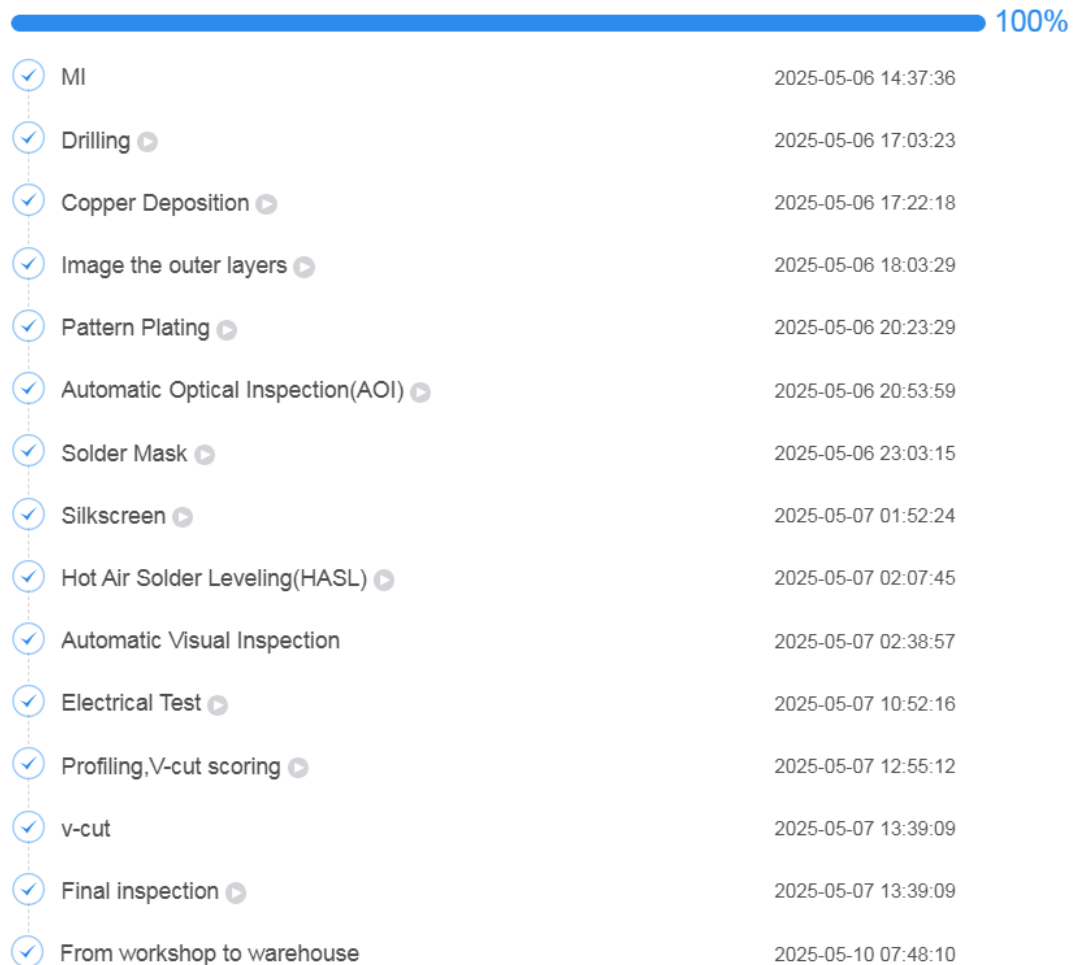
Σχήμα 4.6 - 3D απεικόνιση PCB από JLCPCB πριν την παραγγελία [2]

Παρακάτω στο Σχήμα 4.7 βλέπουμε τα στάδια της προετοιμασίας της πλακέτας από τον προμηθευτή που μας δείχνουν ανά πάσα στιγμή σε ποιο σημείο βρίσκεται η παραγωγή και μας δίνει και estimate finish time όπου φαίνεται πως είναι 4-5 ημέρες έως ότου ολοκληρωθεί όλη η διαδικασία.

Production Progress



Estimated finish time:2025-05-09 14:17



Σχήμα 4.7 – Στάδια παραγωγής PCB [2]

Για τον έλεγχο του αισθητήρα, επιλέχθηκε ένα έτοιμο layout ενός μικροελεγκτή της ST Microelectronics, και συγκεκριμένα τον STM32F103C8T6 [6]. Ο επεξεργαστής του είναι ο Arm 32-bit Cortex M3 και μέγιστη συχνότητα 72MHz. Μνήμη αποθήκευσης διαθέτει 64KB και μνήμη RAM 20KB. Η τάση λειτουργίας του είναι από 2V έως 3,6V, διαθέτει 37 GPIO (θύρες εισόδου/εξόδου), μετατροπέα Αναλογικού σε Ψηφιακό 12bit και θερμοκρασία λειτουργίας -40 °C έως 85 °C. Στο Σχήμα 4.55 - Bluepill Διάγραμμα

ακροδεκτών μπορούμε να διακρίνουμε τις θύρες που διαθέτει και τις περιγραφές των ακροδεκτών.

Η συγκεκριμένη διάταξη ονομάζεται Bluepill [7] [8] και διαθέτει θύρα micro USB για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή για μεγαλύτερη ευκολία στις δοκιμές.

Καθώς το Bluepill δεν διαθέτει κάποιον USB controller που να είναι έτοιμος προγραμματισμένος για σύνδεση με windows σύστημα, και ο μικροελεγκτής είναι κενός (δεν διαθέτει από κατασκευής κάποιο πρόγραμμα στη μνήμη του για να υποστηρίζεται από windows σύστημα μέσω USB προτωκόλλου), δεν υποστηρίζεται άμεσα η σύνδεση του με τη χρήση της USB. Για τον παραπάνω λόγο, θα χρειαστεί στο τέλος να προγραμματίσουμε τον ελεγκτή μέσω σειριακής θύρας με τη χρήση UART programmer με Bootloader, ένα λογισμικό που θα μας επιτρέψει τη σύνδεση του μέσω USB. Μετά τον προγραμματισμό του, ο μικροελεγκτής γίνεται αναγνωρίσιμος μέσω της micro usb από σύστημα που τρέχει windows λογισμικό σύστημα.

Οι ακροδέκτες του Micro USB συνδέονται άμεσα με τον μικροελεγκτή στους ακροδέκτες PA11 και PA12 όπου εκεί συναντούν τα αντίστοιχα pin USBDM και USBDP , προορίζονται για τη χρήση επικοινωνίας με H/Y (εφόσον όπως προαναφέραμε, εγκαταστήσουμε το κατάλληλο λογισμικό – driver)

Το WaveShare PL2303 USB UART Board είναι ένας προσαρμογέας που χρησιμεύει ως ενδιάμεσος μεταξύ ενός υπολογιστή και συσκευών που υποστηρίζουν σειριακή επικοινωνία τύπου UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Η λειτουργία του βασίζεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα PL2303, το οποίο έχει σχεδιαστεί ώστε να μετατρέπει τα σήματα USB του υπολογιστή σε συμβατά σήματα UART και το αντίστροφο. Με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η απευθείας σύνδεση και επικοινωνία του υπολογιστή με τον μικροελεγκτή και θα χρησιμοποιηθεί για να εγκατασταθεί ο bootloader στο Bluepill.

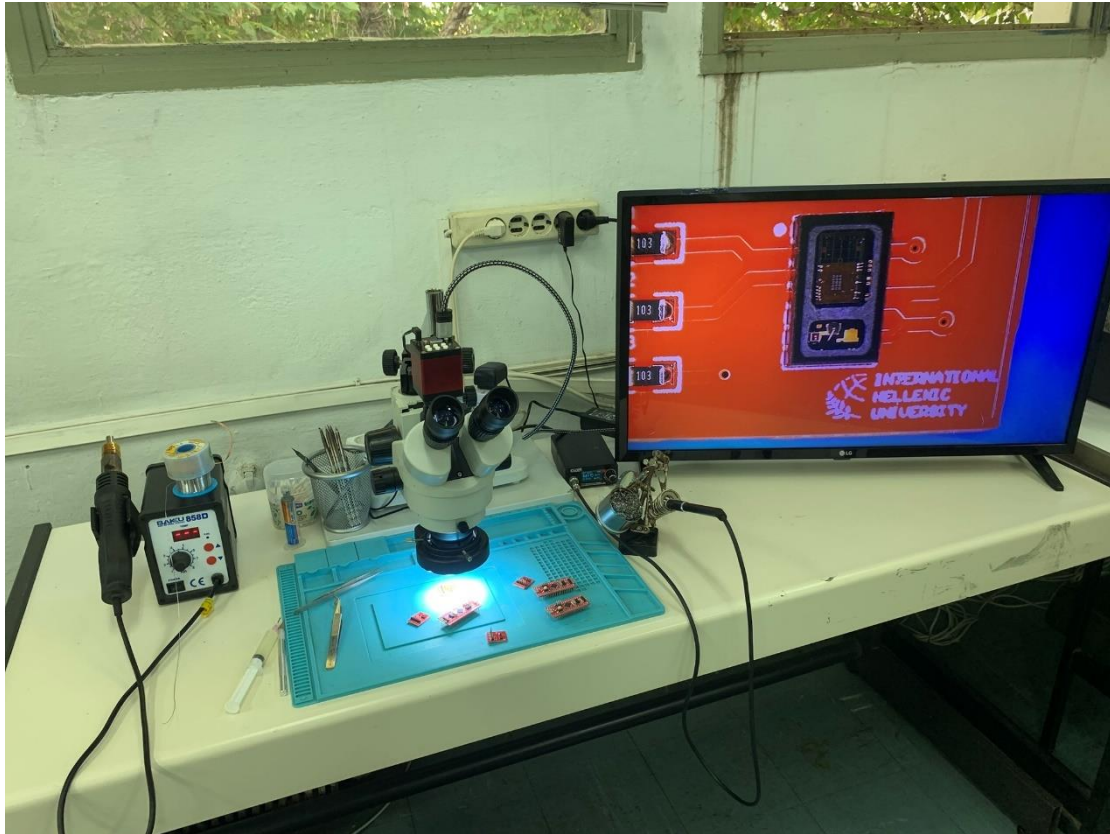
Συνδέεται σε θύρα USB μέσω της υποδοχής Type-C που διαθέτει, απαιτείται να επιλέξουμε επιθυμητή τάση εξόδου 3.3V ή 5V μέσω του Jumper που μας επιτρέπει να αλλάξουμε την τάση εξόδου και συνδέουμε τον προσαρμογέα στις αντίστοιχες θύρες του Bluepill για να γίνει ο προγραμματισμός. Στη δική μας περίπτωση επιλέξαμε τα 3.3V και συνδέθηκε σε μια γραμμή τροφοδοσίας αντίστοιχη στον μικροελεγκτή. Θα μπορούσαμε να επιλέξουμε και τα 5V αρκεί να συνδέαμε την τροφοδοσία των 5V του Bluepill, καθώς το Bluepill διαθέτει έναν LDO Regulator όπου μετατρέπει τα 5V εισόδου σε 3.3V για την τροφοδοσία του ολοκληρωμένου.



Σχήμα 4.8 - Προγραμματιστής UART [9]

4.1 Εξοπλισμός και αναλώσιμα

Η συγκόλληση των εξαρτημάτων έγινε στο εργαστήριο ηλεκτρονικής του τμήματος με τον παρακάτω εξοπλισμό:



Σχήμα 4.9 - Εξοπλισμός Μικροσυγκολλήσεων

➤ **Στερεοσκόπιο/Μικροσκόπιο Industry-3_5X-90X Simul-Focal Trinocular**
[10]

- 1) Η δυνατότητα μεγέθυνσης είναι από $3,5\times$ έως $90\times$
- 2) Προσφέρει τρισδιάστατη απεικόνιση για να έχουμε την αίσθηση του βάθους
- 3) Έχει και τρίτη κεφαλή (Trinocular) για την τοποθέτηση κάμερας παρέχοντας υλικό από την εργασία για ανάλυση και παρουσίαση των συγκολλήσεων.
- 4) Ρυθμιζόμενη βάση στήριξης που μας βοηθάει να επιλέξουμε την κατάλληλη θέση.
- 5) Μεγάλη απόσταση του φακού από την πλακέτα (απόσταση εργασίας)

➤ **Σταθμός κόλλησης KSGER για μύτες τύπου T12**

- 1) Ρυθμιζόμενη θερμοκρασία που είναι απαραίτητη για την συγκόλληση ευαίσθητων εξαρτημάτων
- 2) Επιλογή μύτες από το μενού, έχει γίνει calibration της κάθε μύτες για τη σωστή ένδειξη και την ταχύτητα διόρθωσης της θερμοκρασίας, απαιτείται ειδικά όταν γίνεται συγκόλληση μεγάλων ground pad.
- 3) Εύκολη αλλαγή της μύτες από το στέλεχος ακόμη και όταν αυτή βρίσκεται σε λειτουργία
- 4) Εργονομικός σχεδιασμός του στελέχους με καλή λαβή ειδική για μικροσυγκολλήσεις

➤ **Σταθμός Θερμού αέρα BAKU 858D**

- 1) Έλεγχος της θερμοκρασίας
- 2) Έλεγχος της ροής του αέρα
- 3) Ακρίβεια στην κατεύθυνση του αέρα
- 4) Ακροφύσια σε διάφορα μεγέθη

➤ **Καλάι Mechanic TY-V866 Series**

- 1) Διατομή σύρματος 0,3mm, ιδανικό για κολλήσεις στο μικροσκόπιο
- 2) Θερμοκρασία τήξης 183°C που μας βοηθά στη συγκόλληση ευαίσθητων εξαρτημάτων καθώς μπορούμε κάνουμε την εργασία με χαμηλότερη θερμοκρασία

Συστατικά:

- 1) Tin (Sn): 63%
- 2) Flux: 3.0%
- 3) Expansion: 75%
- 4) CI (Flux): 0.05%
- 5) Lead (Pd): 37%

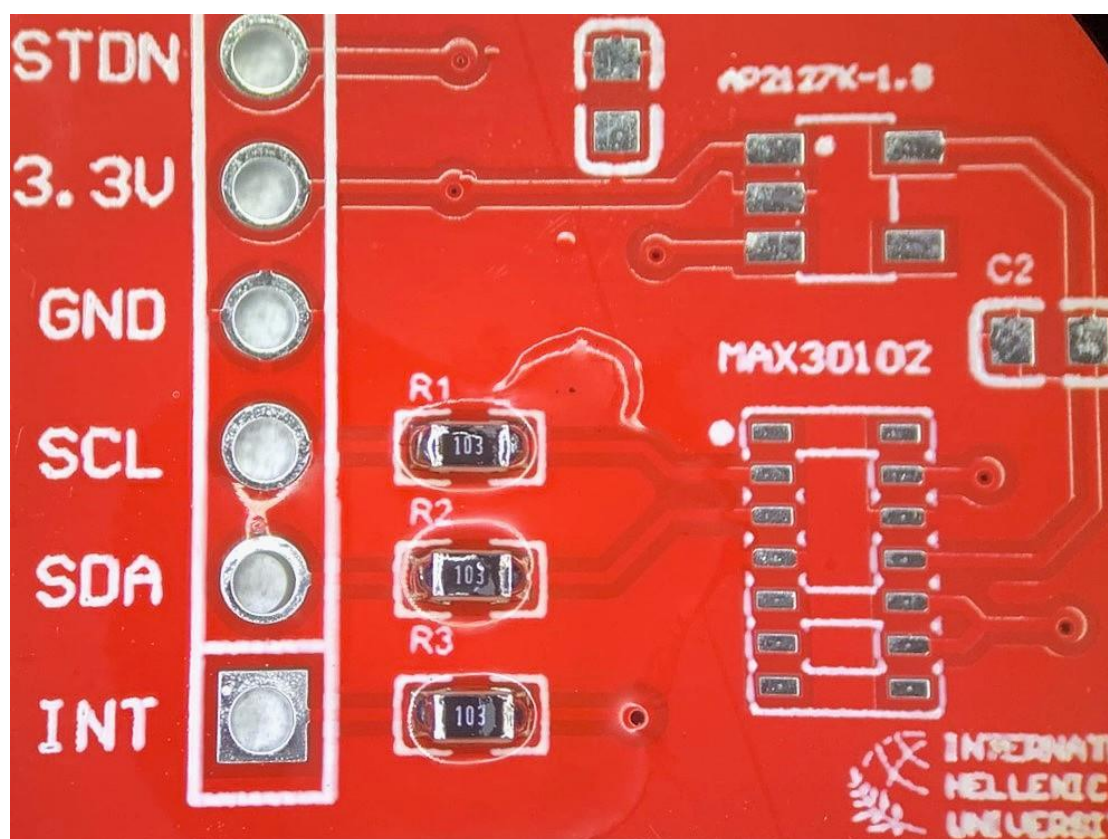
Ο κασσίτερος (Tin-Sn) είναι το βασικό συστατικό του καλαί. Η περιεκτικότητα 63% αυτού με 37% μόλυβδο (Lead – Pd) δηλώνει και τη θερμοκρασία όπου από τη στερεά μορφή περνά στην υγρή μορφή και προσφέρει καθαρές και ομοιογενής συγκολλήσεις στις εφαρμογές των ηλεκτρονικών πλακετών. Η ποσότητα Flux μέσα στο σύρμα συγκόλλησης είναι 3% και βοηθά στην καλύτερη συγκόλληση καθαρίζοντας την οξειδωση των επιφανειών κόλλησης και βελτιώνει την πρόσφυση. Μετά τη συγκόλληση είναι απαραίτητο να καθαρίσουμε τα υπολείμματα του καθώς με το πέρασμα του χρόνου μπορεί να διαβρώσει τις κολλήσεις αλλά και να συγκεντρώσει σκόνες στην επιφάνεια του λόγω της κολλώδους υφής του. Το CI (Flux) - Chloride Ion , πρόκειται για ιόντα χλωρίου και υπάρχει σε πολύ μικρή περιεκτικότητα της τάξης 0,05%. Το συναντάμε σε καλαί τύπου no—clean καθώς η παρουσία του καταπολεμά τα υπολείμματα Flux μετά το πέρας της συγκόλλησης. Ο όρος Expansion 75% αναφέρεται στη διόγκωση του flux κατά τη συγκόλληση, δηλαδή στην ικανότητά του να απλωθεί και να καλύψει αποτελεσματικά την περιοχή εφαρμογής, ενισχύοντας έτσι την ποιότητα και καθαρότητα της συγκόλλησης.

Επιπλέον Εξοπλισμός:

- Σύρμα αποκόλλησης (Desolder Wick)
- Πάστα κόλλησης (Solder Paste) ίδιας αναλογίας 63/37 όπως και το σύρμα
- Σπρέι πεπιεσμένου αέρα
- Πανάκια καθαρισμού PCB για τα υπολείμματα Flux
- Ισοπροπυλική αλκοόλη
- Επιφάνεια αντιολισθητική σιλικόνης ανθεκτική στην θερμοκρασία
- Βάση στήριξης PCB
- Προσέλα (Tweezer) γωνιακή με λεπτή μύτη ιδανική για Μικροσυγκολλήσεις

4.2 Συγκόλληση των εξαρτημάτων οξυμέτρου

Για να έχουμε όσο το δυνατόν λιγότερες αστοχίες και για να μην εκθέσουμε τα εξαρτήματα σε υψηλές θερμοκρασίες πολλές φορές, επιλέγουμε να τα συγκολλήσουμε με μια συγκεκριμένη σειρά. Πρώτα θα κολλήσουμε τις SMD αντιστάσεις, τους πυκνωτές, θα συνεχίσουμε με τον LDO και τέλος θα τοποθετήσουμε τον αισθητήρα. Με αυτό τον τρόπο, δεν θα χρειαστεί να ζεστάνουμε πολλές φορές την πλακέτα έχοντας τον αισθητήρα σε κοντινή απόσταση με τα σημεία που βρίσκονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα.



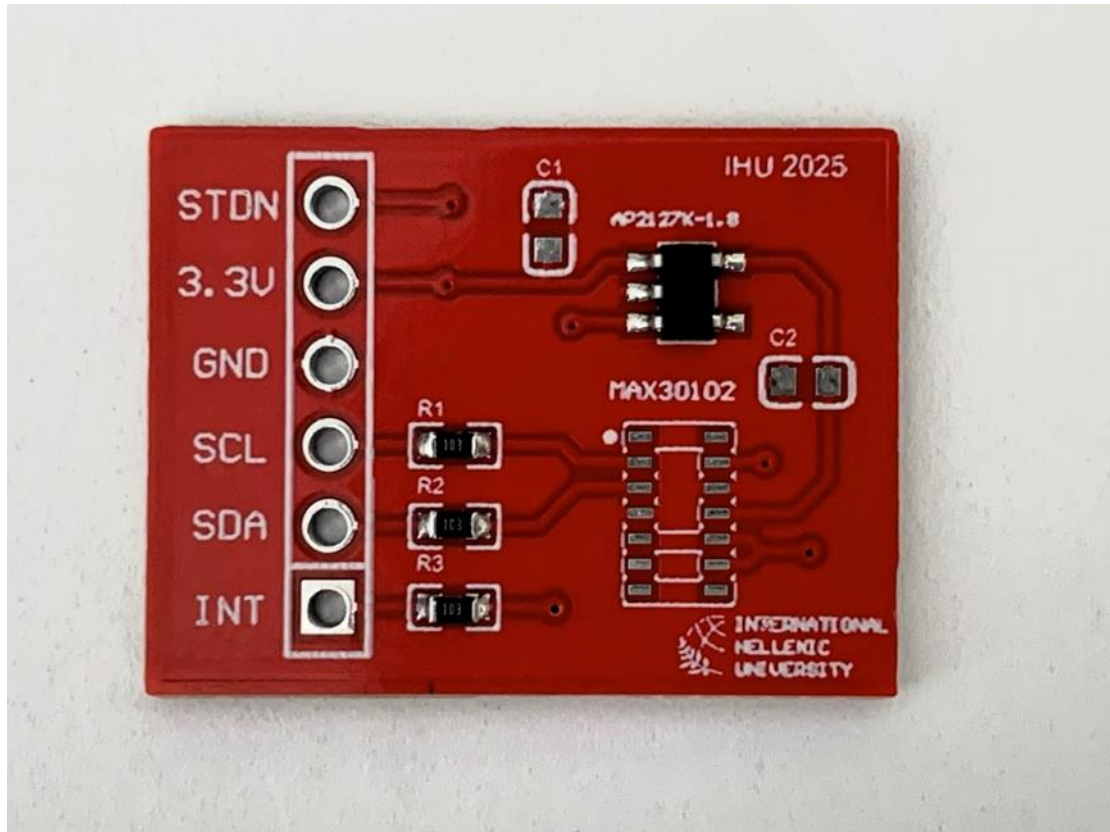
Σχήμα 4.10 – PPG συγκόλληση αντιστάσεων SMD

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στο Σχήμα 4.10 είναι η εξής:

Με το κολλητήρι, τοποθετήθηκε μικρή ποσότητα κόλλησης στο ένα pad για τον ακροδέκτη της κάθε αντίστασης επάνω στην πλακέτα. Με τη χρήση Fux και με την προσέλα, ευθυγραμμίστηκαν οι αντιστάσεις ενώ ταυτόχρονα με τη μύτη του κολλητηριού γινόταν η συγκόλληση του ενός ακροδέκτη με σκοπό να σταθεροποιηθεί

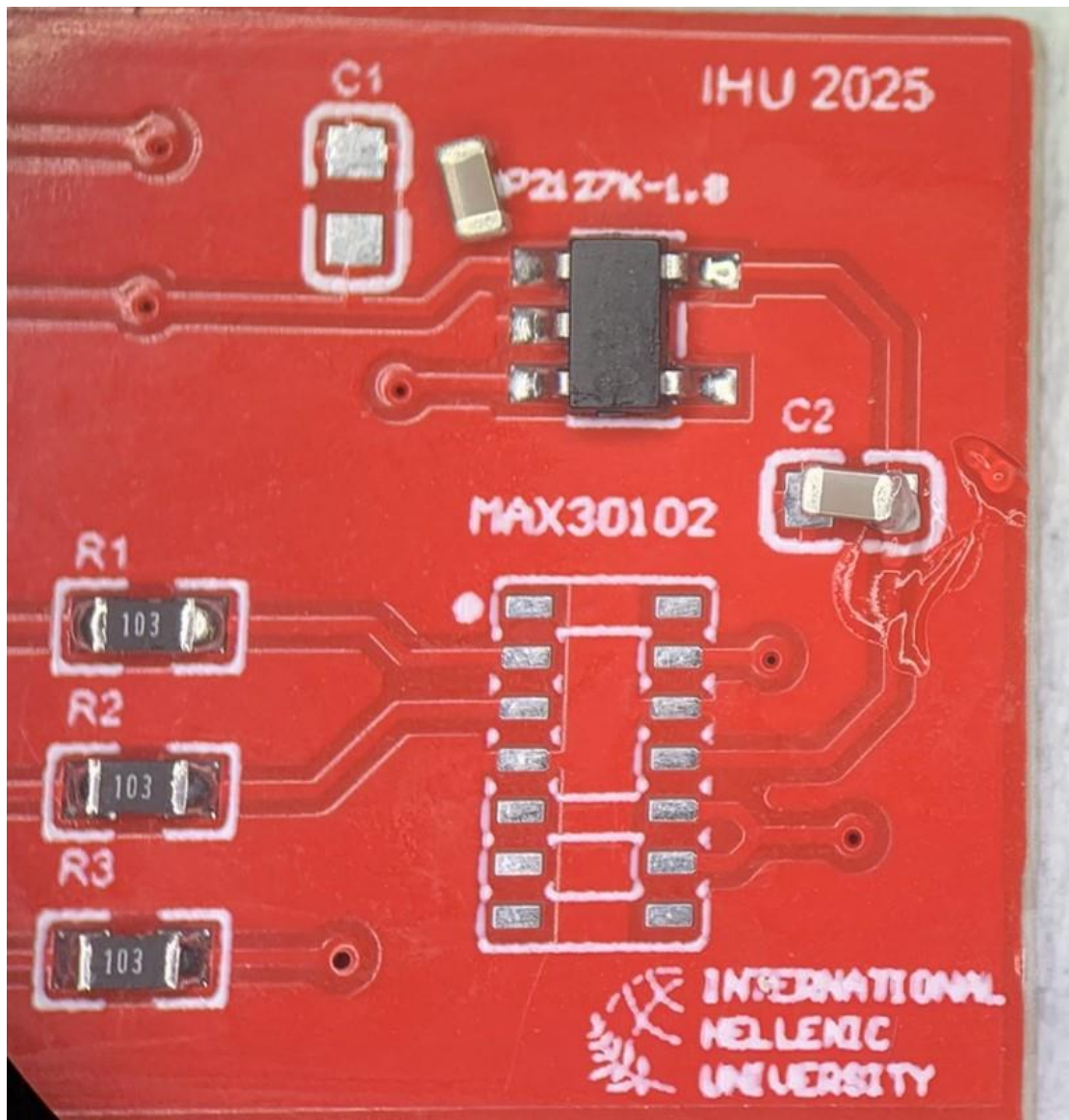
έτσι ώστε να μπορέσουμε να κολλήσουμε και τον δεύτερο ακροδέκτη χωρίς να κρατάμε πλέον την αντίσταση.

Τέλος χρειάζεται να ξανά περαστεί ακόμη μια φορά με λίγη φρέσκια κόλληση το πρώτο pad που κολλήθηκε καθώς πολλές φορές παίρνει περισσότερο χρόνο η ευθυγράμμιση και το flux εξατμίζεται με αποτέλεσμα να έχουμε μια ψυχρή κόλληση όπως αυτή στο Σχήμα 4.40 - Bluepill SMD Ψυχρή κόλληση αντίστασης 0603.



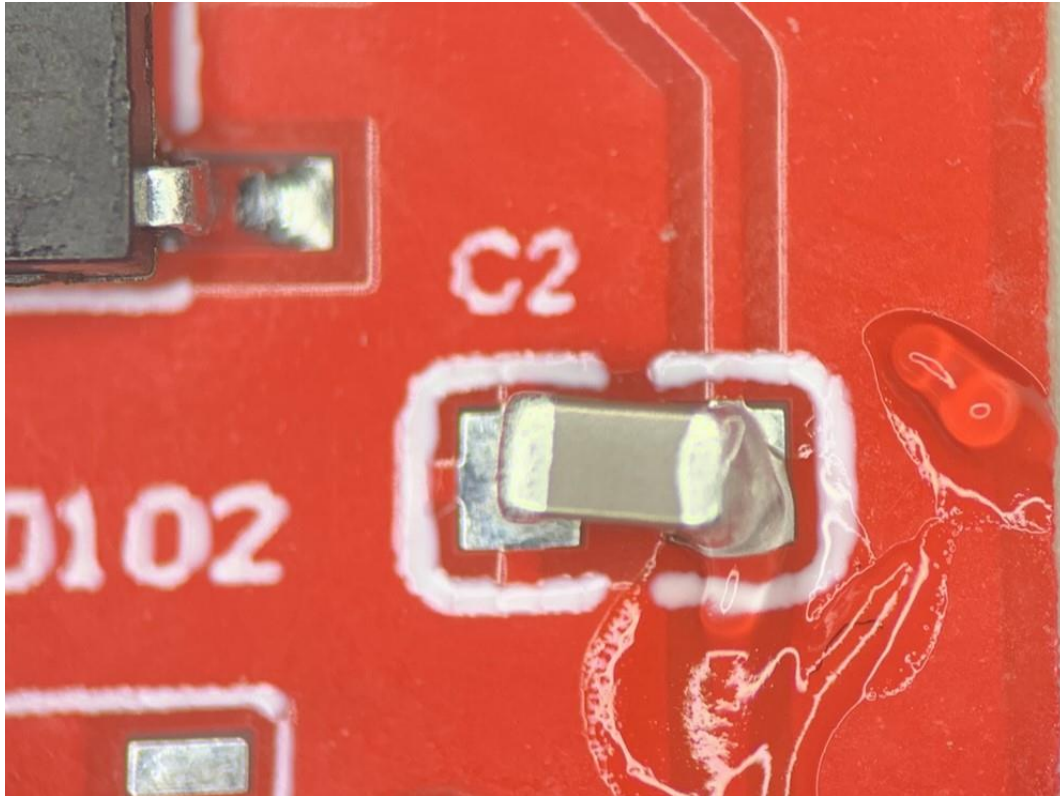
Σχήμα 4.11 – PPG συγκόλληση SMD LDO

Με την ίδια τεχνική τοποθετήθηκε και ευθυγραμμίστηκε και ο LDO Regulator, κάνοντας μια συγκόλληση μόνο σε ένα pin αρχικά και έπειτα αφού σταθεροποιηθεί γίνεται η κόλληση και των άλλων ακροδεκτών. Τέλος επιστρέφουμε στον πρώτο ακροδέκτη και τον ξανά περνάμε με λίγη νέα κόλληση και Flux.



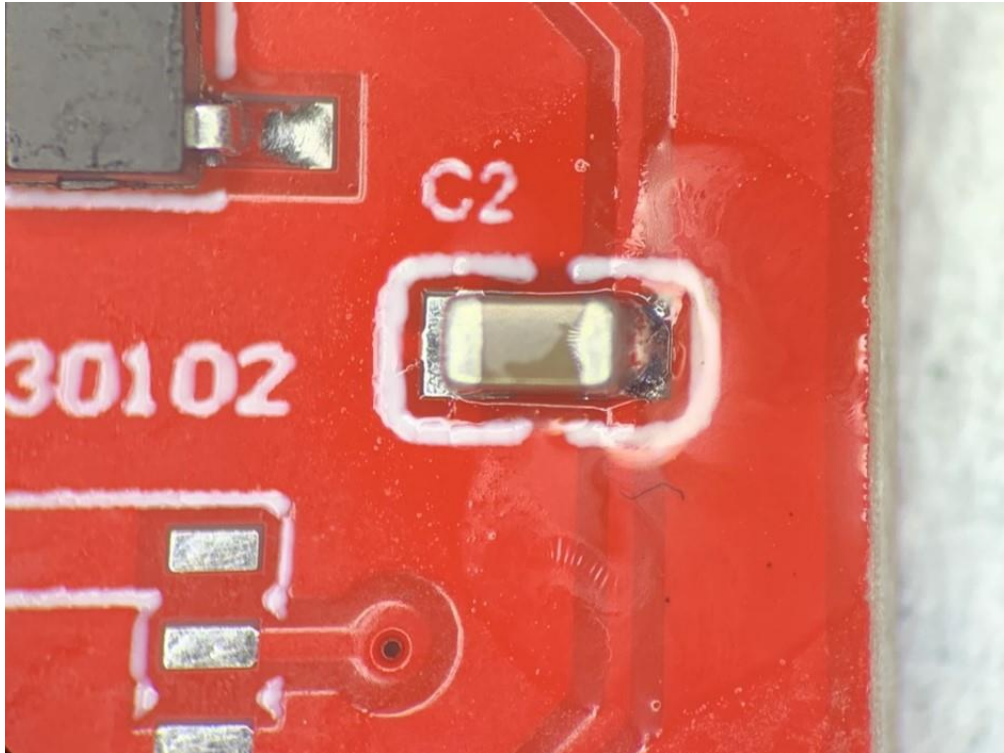
Σχήμα 4.12 – PPG Προετοιμασία πριν τη συγκόλληση SMD πυκνωτών

Με την ίδια τεχνική ακριβώς γίνεται και η κόλληση των πυκνωτών. Εδώ όμως θα παρατηρήσουμε πως ενώ ο ακροδέκτης του θετικού πόλου μπορεί να κολλήσει με την ίδια ευκολία όπως οι αντιστάσεις, δεν ισχύει το ίδιο με τον ακροδέκτη της γείωσης.



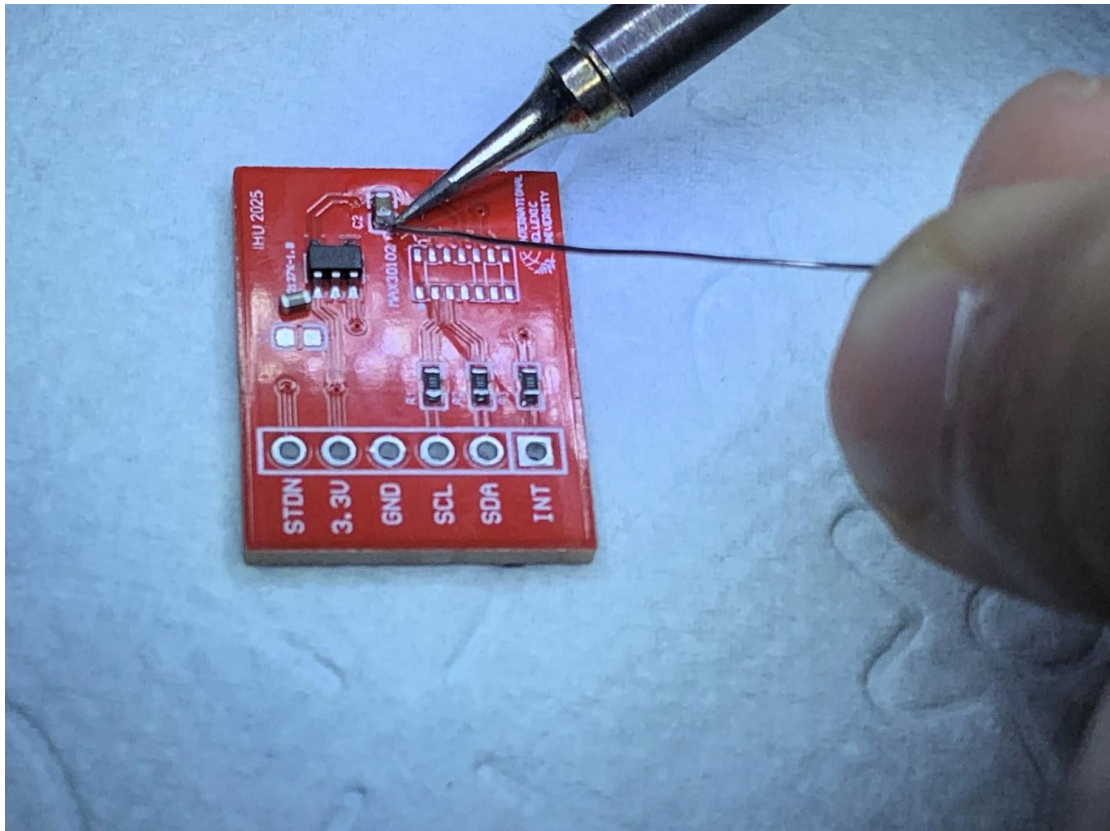
Σχήμα 4.13 – PPG χρήση Flux για τη συγκόλληση SMD εξαρτημάτων

Όπως και στα προηγούμενα εξαρτήματα, προετοιμάζουμε το σημείο της κόλλησης βάζοντας μικρή ποσότητα Flux και τοποθετούμε τον πυκνωτή αφού τον ευθυγραμμίσουμε για την συγκόλληση του δεξί ακροδέκτη στο Σχήμα 4.13 – PPG χρήση Flux για τη συγκόλληση SMD εξαρτημάτων.



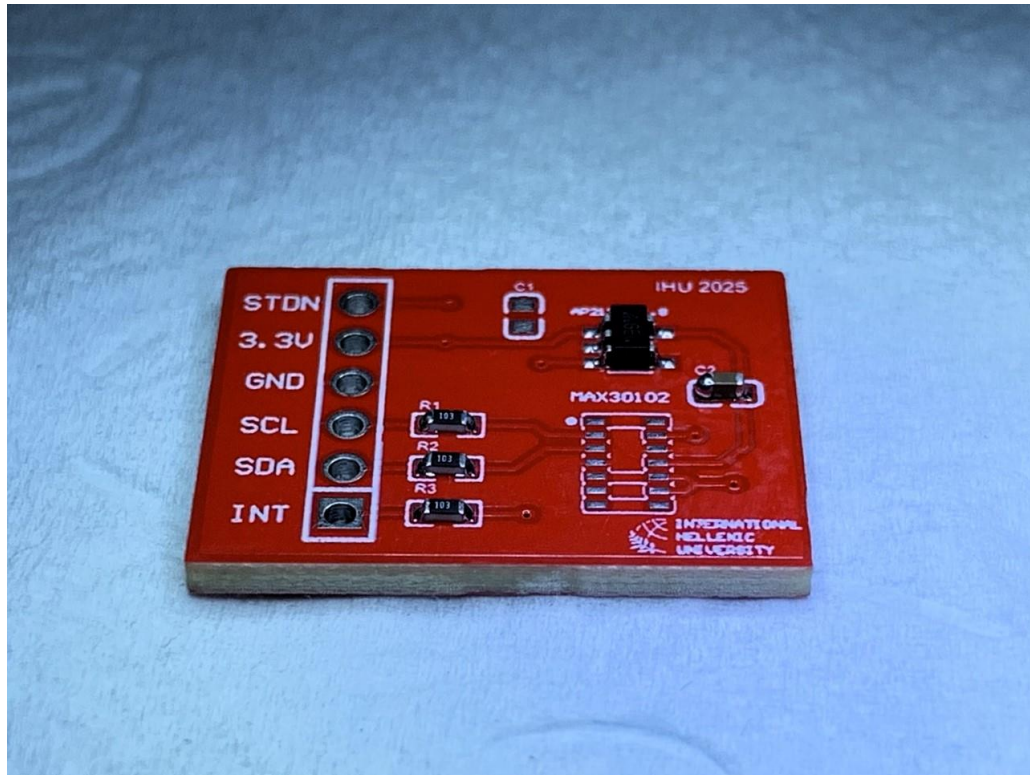
Σχήμα 4.14 - PPG SMD Συγκόλληση πυκνωτή με κολλητήρι

Έχουμε κάνει την κόλληση όπως στο Σχήμα 4.14 - PPG SMD Συγκόλληση πυκνωτή με κολλητήρι και βλέπουμε πως έχει ενσωματωθεί όμορφα τόσο με τον πυκνωτή όσο με το pad της πλακέτας.



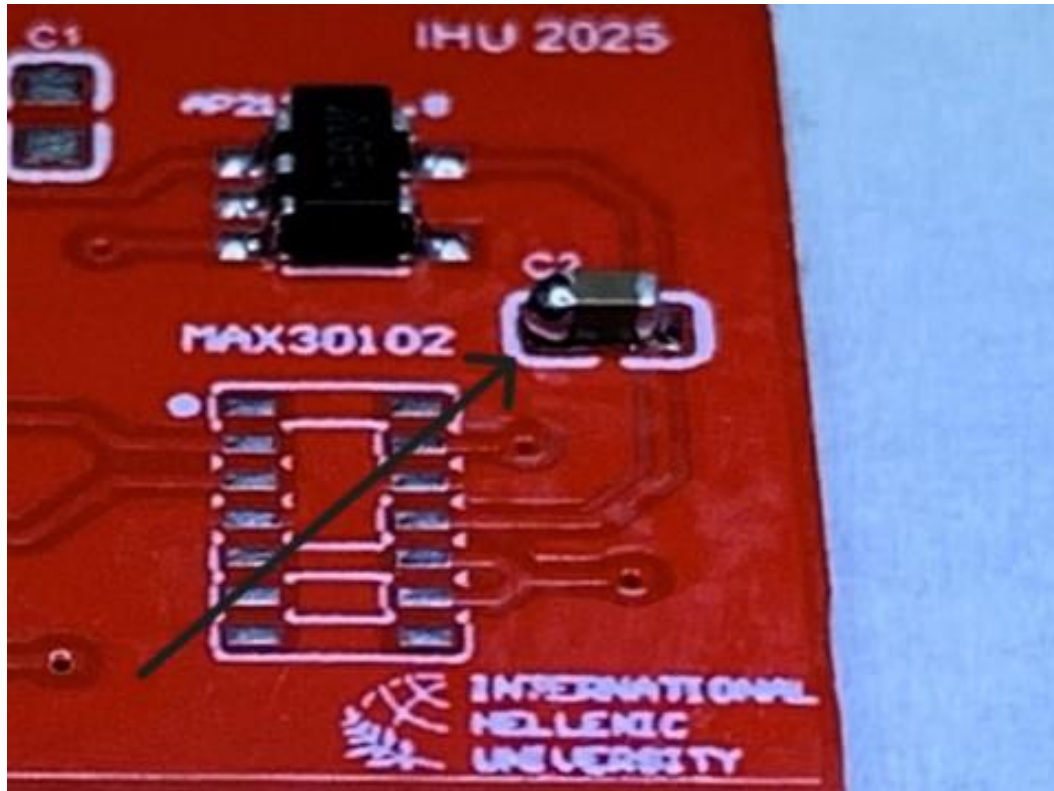
Σχήμα 4.15 - PPG SMD Απόθεση κασσιτέρου με κολλητήρι

Στο Σχήμα 4.15 γίνεται η προσπάθεια κόλλησης της γείωσης του εξαρτήματος. Όπως φαίνεται, το κολλητήρι δεν αγγίζει ολόκληρη την επιφάνεια της πλακέτας ούτε του πυκνωτή. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η κόλληση να μην είναι η αναμενόμενη και στην πλευρά της πλακέτας η κόλληση δεν θα αγκαλιάσει το pad σωστά.



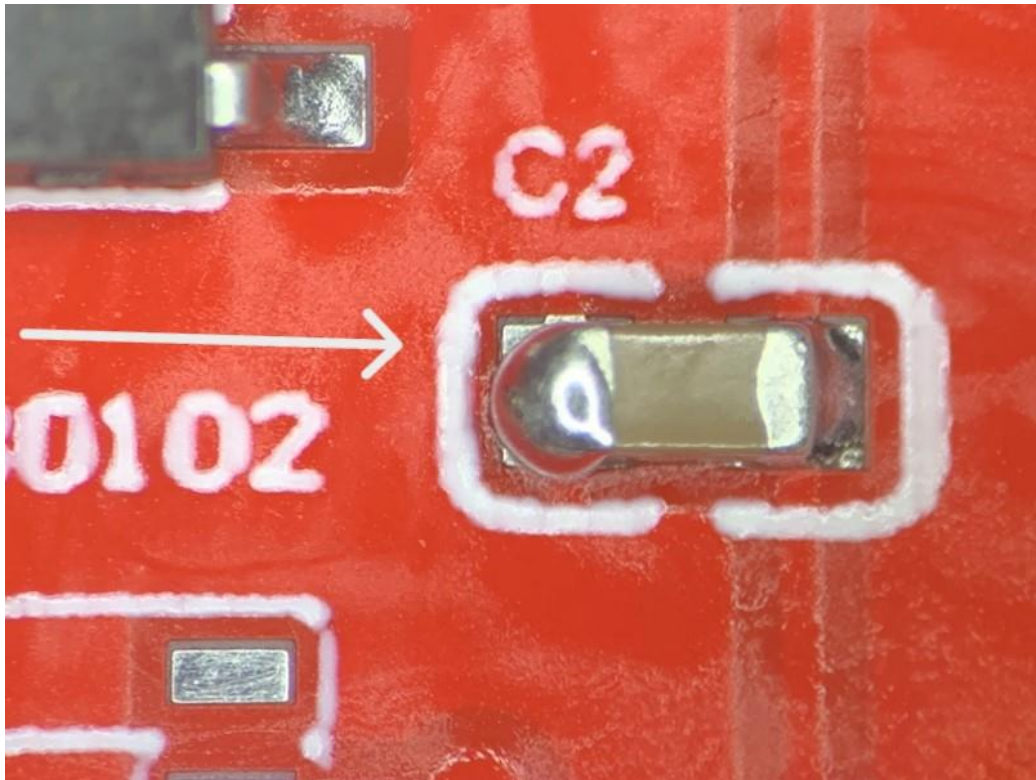
Σχήμα 4.16 - PPG SMD Ψυχρή κόλληση του πυκνωτή στον αριστερό ακροδέκτη

Στη δεξιά πλευρά της πλακέτας, Σχήμα 4.16, βλέπουμε τον πυκνωτή C2. Από μακριά φαίνεται πως κάτι δεν έχει γίνει σωστά με την κόλληση του ακροδέκτη της γείωσης. Έχει περισσότερη κόλληση και δεν έχει σωστό σχήμα.

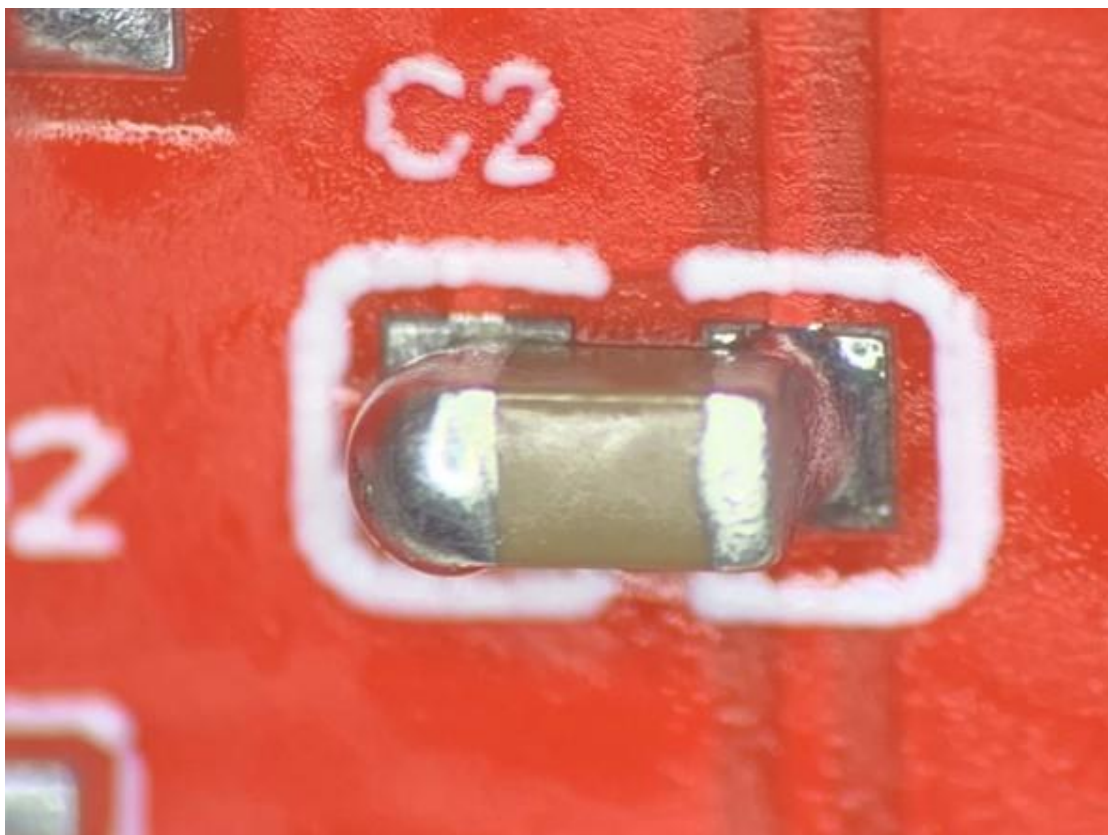


Σχήμα 4.17 - PPG SMD Capacitor Ψυχρή κόλληση στην επαφή γείωσης (Ground Pad)

Βλέπουμε πως υπάρχει μια μεγάλη μπίλια από κόλληση επάνω στον πυκνωτή. Στην επόμενη φωτογραφία μέσω μικροσκοπίου εντοπίζουμε ξεκάθαρα το πρόβλημα.



Σχήμα 4.18 - PPG Ψυχρή κόλληση στην επαφή γείωσης (Άνω όψη)

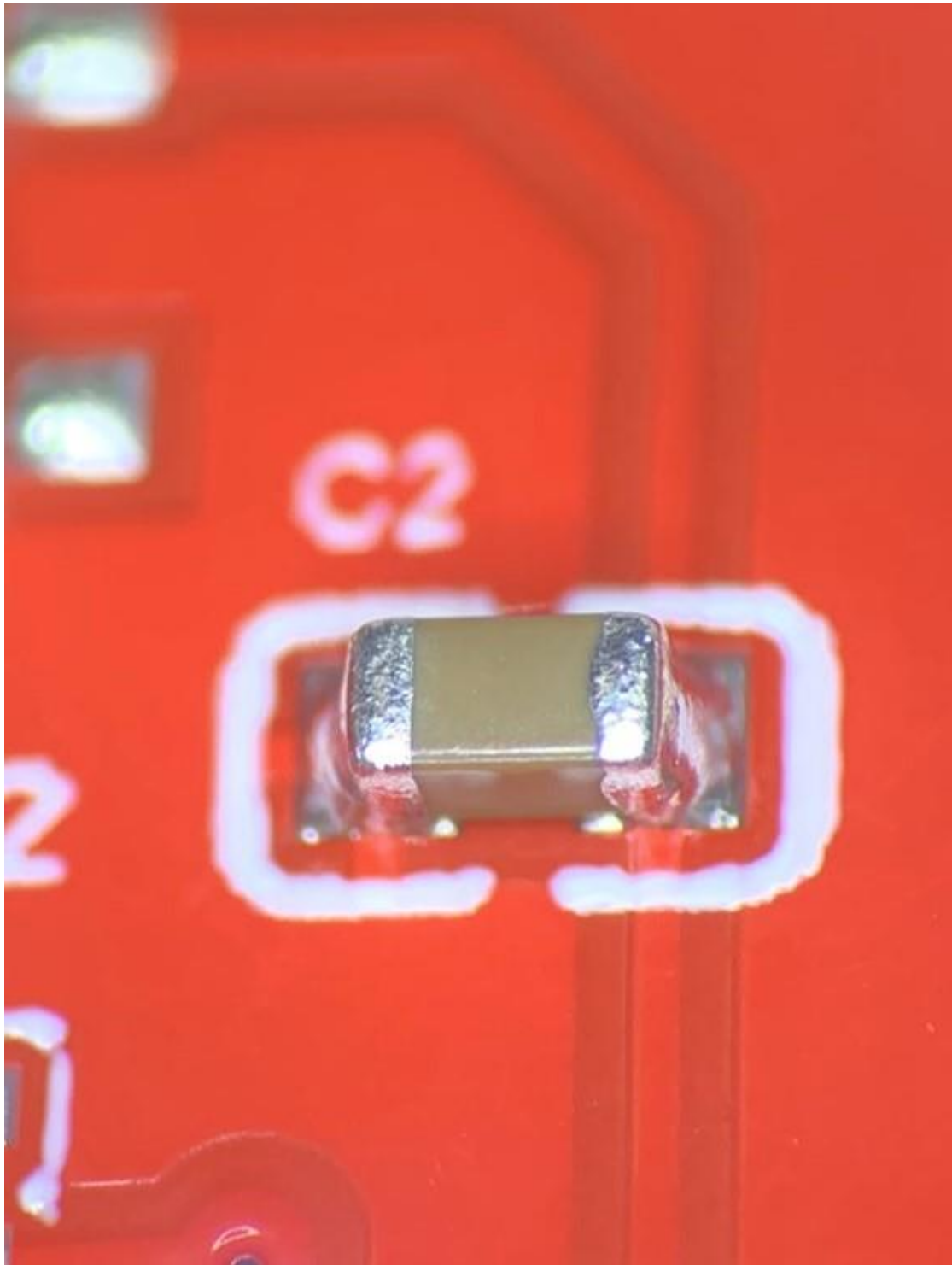


Σχήμα 4.19 - PPG Ψυχρή κόλληση στην επαφή γείωσης του SMD πυκνωτή

Στα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 4.17,Σχήμα 4.18,Σχήμα 4.19) βλέπουμε πως ενώ η κόλληση έχει αγκαλιάσει σωστά τον πυκνωτή δεν έχει αγγίξει καθόλου στην πλακέτα.

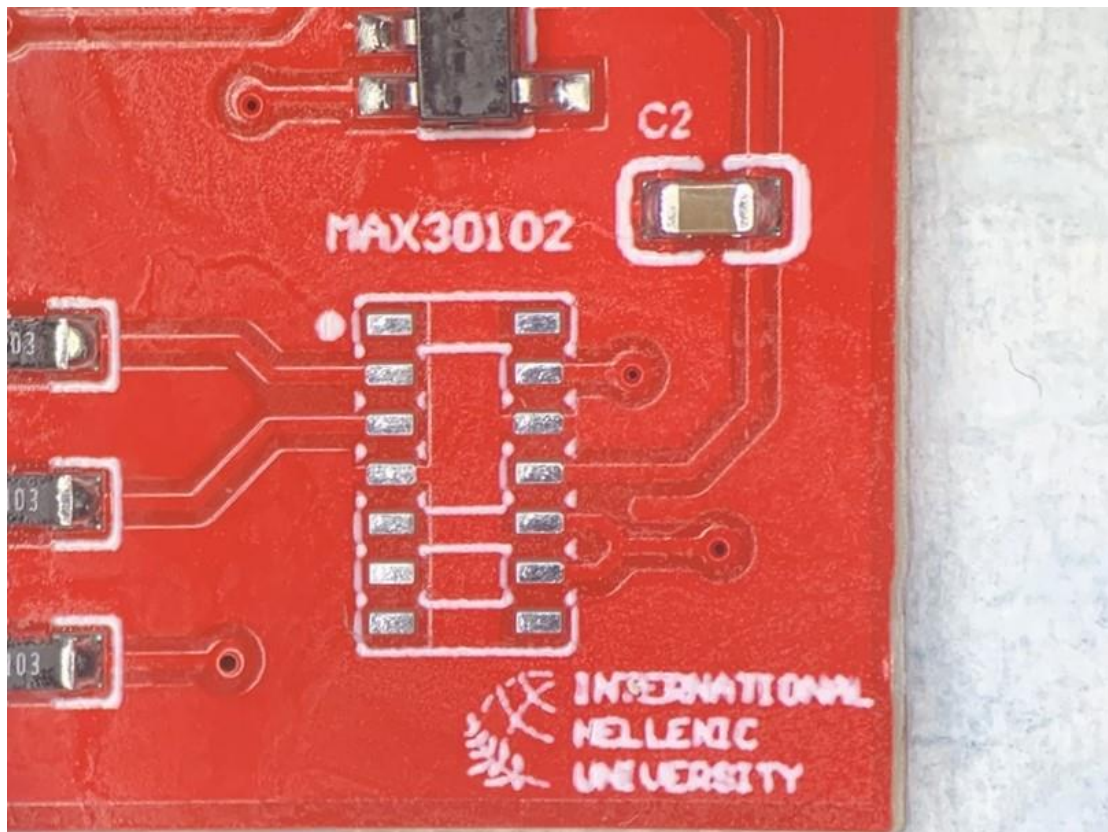
Αυτό ονομάζεται ψυχρή κόλληση και μπορούμε να το διορθώσουμε αν αυξήσουμε τη θερμοκρασία της πλακέτας στο σημείο της κόλλησης. Στο σημείο της γείωσης υπάρχει μεγάλη ποσότητα χαλκού άμεσα ηλεκτρικά συνδεδεμένη με όλο το ground pad της πλακέτας. Ο χαλκός απορροφάει μεγάλο μέρος της θερμοκρασίας από το κολλητήριο και σε αυτή την περίπτωση δεν μπόρεσε να ανταπεξέλθει. Σε τέτοιου είδους δύσκολες κολλήσεις υπάρχουν λύσεις που εξηγούμε παρακάτω.

- 1) Αυξάνουμε θερμοκρασία στο σταθμό κόλλησης
- 2) Αγγίζουμε με τη μύτη από το κολλητήριο περισσότερη ώρα επάνω στο pad της γείωσης και δεν αγγίζουμε καθόλου τον πυκνωτή ή ελάχιστα στο τέλος της συγκόλλησης
- 3) Χρησιμοποιούμε Preheater (Θερμαινόμενη πλάκα) σε μια θερμοκρασία ασφαλή για τα γύρω εξαρτήματα αλλά ικανή να βοηθήσει στην κόλληση των γειώσεων
- 4) Με τη βοήθεια του σταθμού θερμού αέρα μπορούμε να θερμάνουμε την πλακέτα πριν την κόλληση αυτού του ακροδέκτη ή και κατά τη διάρκεια της κόλλησης με χαμηλή θερμοκρασία σαν υποβοήθηση.



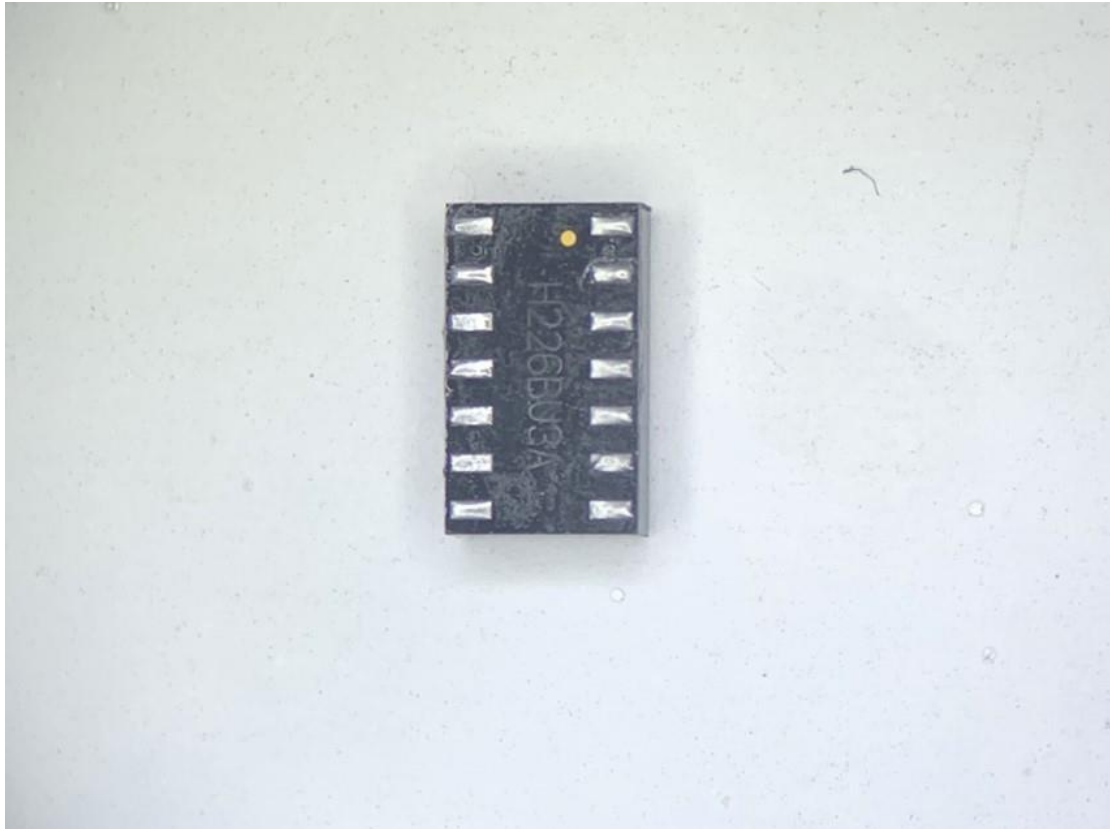
Σχήμα 4.20 - PPG Διόρθωση ψυχρής κόλλησης του SMD πυκνωτή

Ακολουθώντας την τεχνική Νο. 4 πετύχαμε το αποτέλεσμα που απεικονίζει το Σχήμα 4.20. Βλέπουμε πως έχει ενσωματωθεί η κόλληση ομοιόμορφα τόσο στην πλακέτα όσο και στον πυκνωτή.



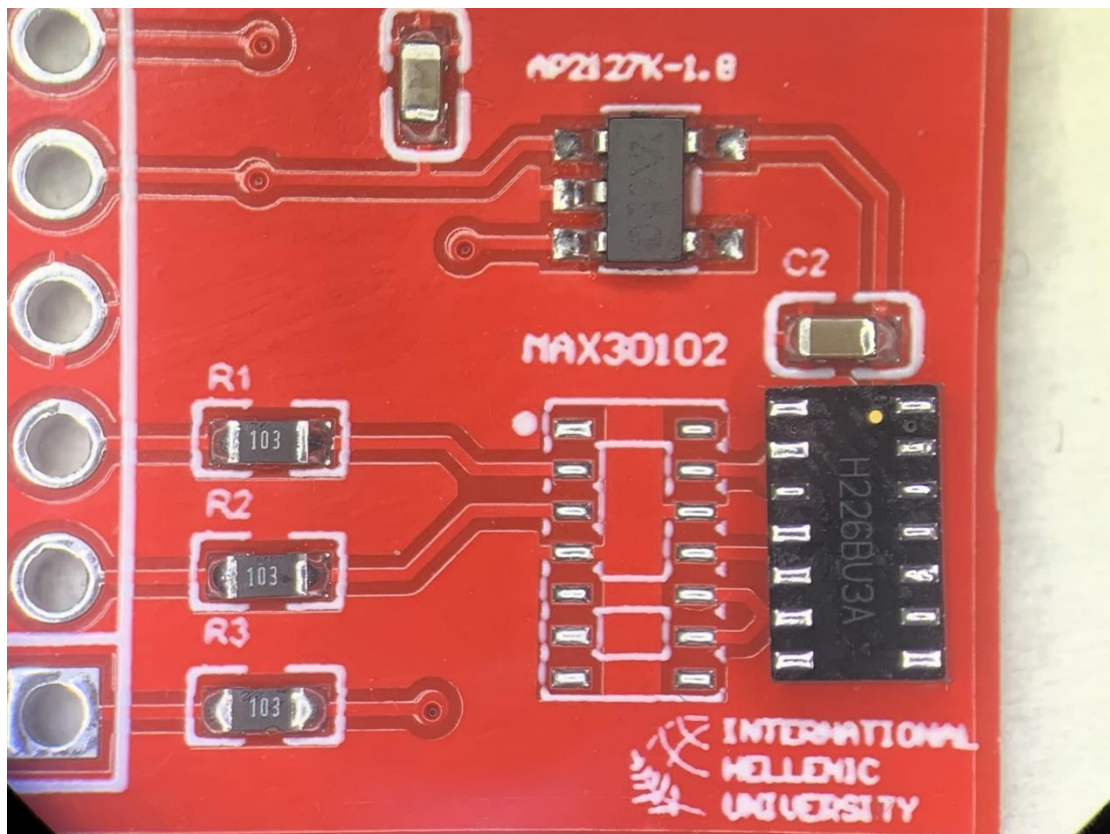
Σχήμα 4.21 – PPG Συγκόλληση του αισθητήρα MAX30102

Η μεγάλη δυσκολία είναι στην συγκόλληση του αισθητήρα επειδή δεν θα πρέπει να ξεπεράσουμε τους 270 °C καθώς υπάρχουν πλαστικά μέρη που μπορεί να αλλοιωθούν. Θα προτιμήσουμε μια θερμοκρασία στον θερμό αέρα κοντά στους 270°C και λίγο παραπάνω αν χρειαστεί αλλά θα χαμηλώσουμε τη ροή αέρα. Όταν η ροή αέρα είναι χαμηλά, οι πιθανότητες να λιώσει ένα πλαστικό είναι πολύ λιγότερες, ακόμη και αν η θερμοκρασία είναι περισσότερη από αυτή που ορίζει ο κατασκευαστής. Αν κάνουμε το αντίθετο, ορίσουμε μια ασφαλή θερμοκρασία για τον αισθητήρα χαμηλότερη της μέγιστης που δίνουν οι προδιαγραφές στο Datasheet και αυξήσουμε τη ροή αέρα δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι πως θα φτάσει το σημείο της συγκόλλησης πάνω από 183°C και ενδέχεται να ξεφύγουμε στο χρόνο που θα χτυπάμε με θερμό αέρα τον αισθητήρα.



Σχήμα 4.22 – PPG Απόθεση κασσιτέρου στον αισθητήρα MAX30102

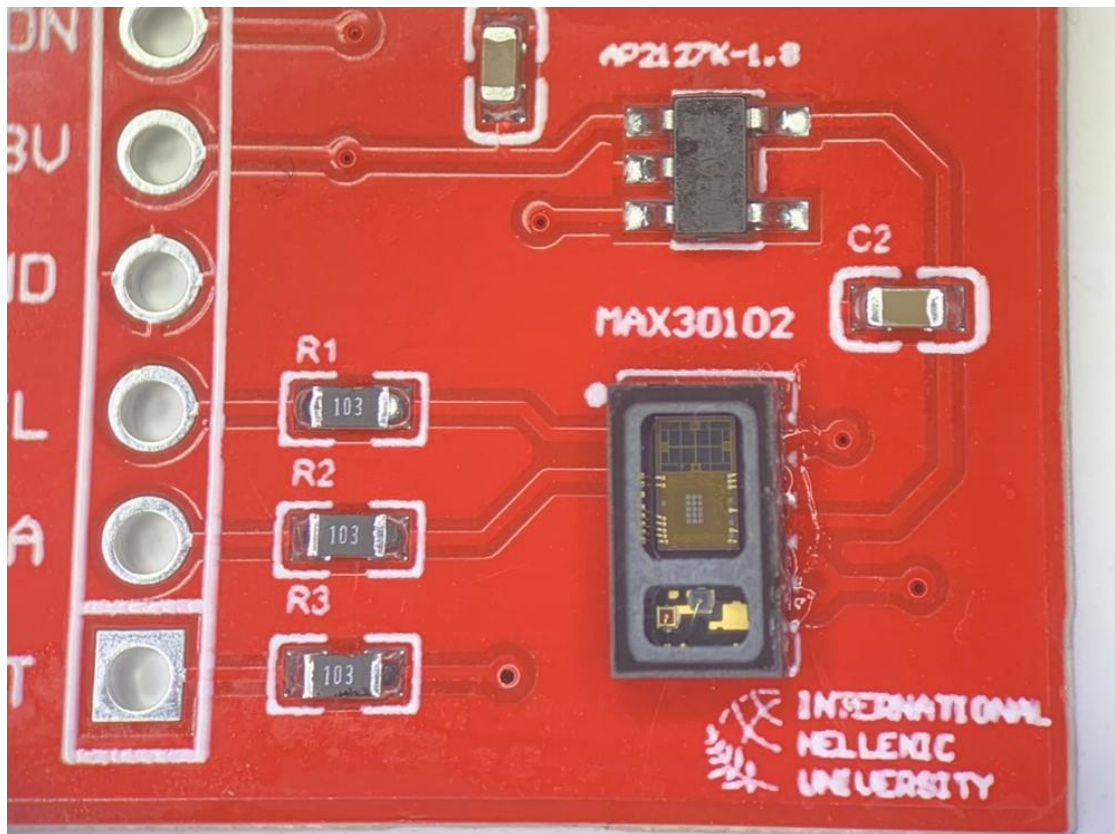
Προετοιμάζουμε τον αισθητήρα με κόλληση σε κάθε pad που πρέπει να κολληθεί. Στο συγκεκριμένο project δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο Stencil για το Reball του αισθητήρα αλλά έγινε με το κολλητήρι και καλάι (Mechanic TY-V866 0.3mm). Το ίδιο κάνουμε και στην πλακέτα, φροντίζουμε κάθε ακροδέκτης να έχει ίση ποσότητα κόλλησης με τα διπλανά του για να μην έχουμε κενά μόλις ολοκληρωθεί η συγκόλληση ή να μην ξεχειλίσει και φτάσει στο σημείο να αγγίζει με κάποιο διπλανό (Bridge).



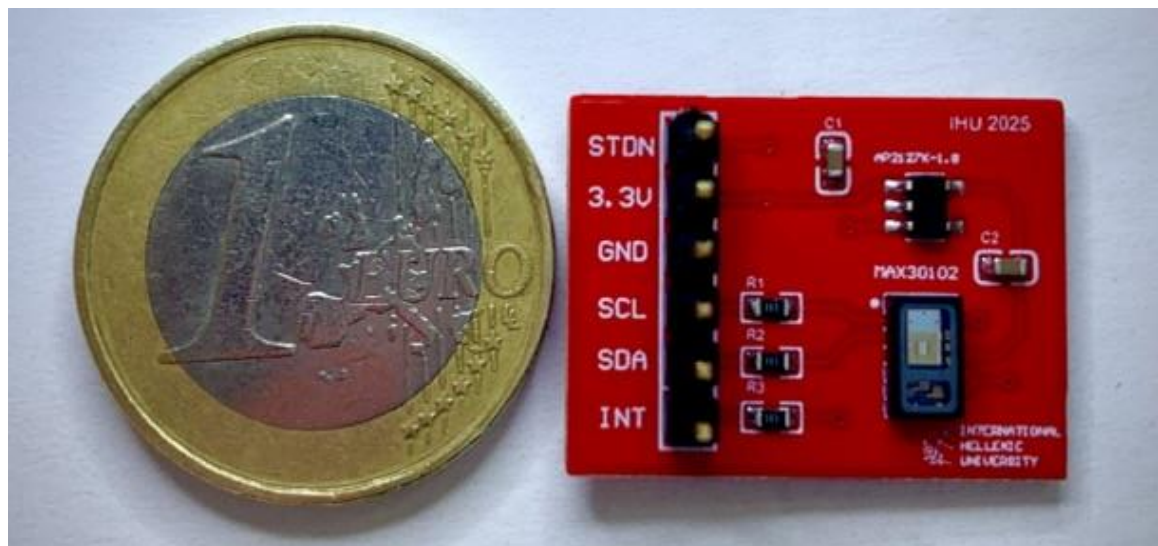
Σχήμα 4.23 – PPG Απόθεση κασσιτέρου στην πλακέτα για τη συγκόλληση του MAX30102

Στο Σχήμα 4.23 βλέπουμε το τελικό αποτέλεσμα του Reball. Έχει γίνει και στον αισθητήρα αλλά και στην πλακέτα. Σε αυτό το σημείο να προσθέσω πως με αυτή την τεχνική ολοκληρώνεται σε μικρότερο χρόνο η συγκόλληση και έχει απειροελάχιστες πιθανότητες αστοχίας καθώς περνώντας με κόλληση και τις 2 πλευρές δεν αφήνουμε περιθώρια για ψυχρή κόλληση. Το καλά επειδή είναι ακριβώς ίδιο υλικό θα ενσωματωθεί πιο εύκολα με την άλλη πλευρά της κόλλησης.

Θερμαίνουμε λοιπόν με χαμηλή ροή την πλακέτα πριν μπει ο αισθητήρας έτσι ώστε να έχει φτάσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο θερμοκρασίας, μέχρι να δούμε πως αρχίζει να γυαλίζει η κόλληση που υπάρχει στην πλευρά της πλακέτας. Έπειτα αφήνουμε τον αισθητήρα και τον ευθυγραμμίζουμε. Όταν καθίσει μόνος του ή δούμε πως η ελαστικότητα της κόλλησης τραβήξει τον αισθητήρα προς το σωστό σημείο θα ξέρουμε πως έχει κολλήσει.

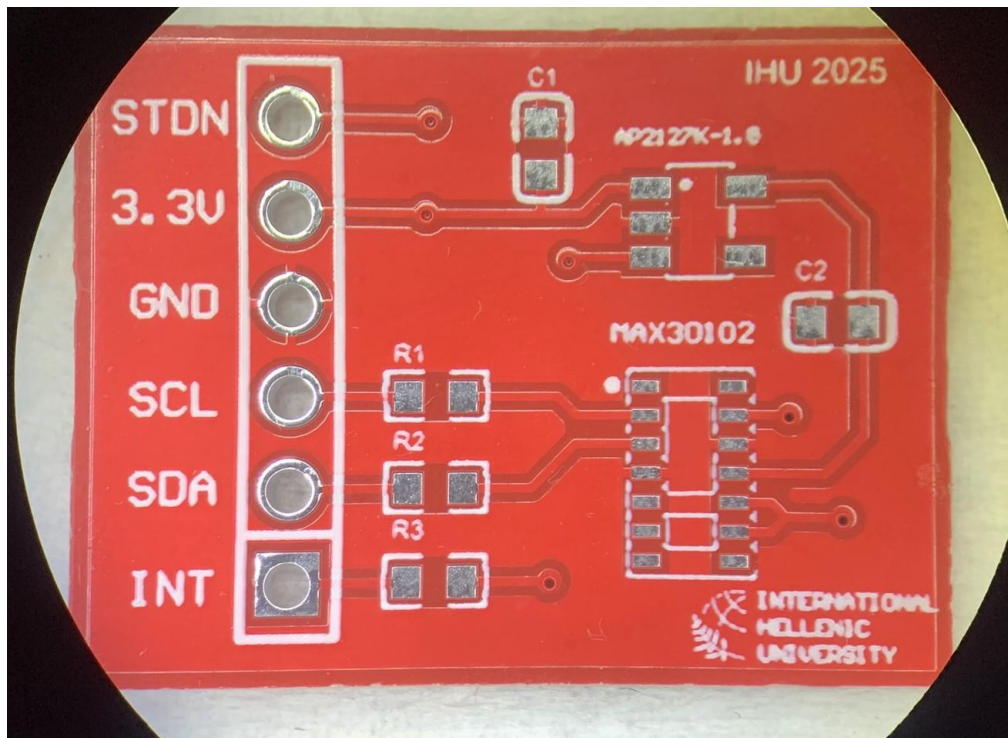


Σχήμα 4.24 – PPG Συγκόλληση MAX30102



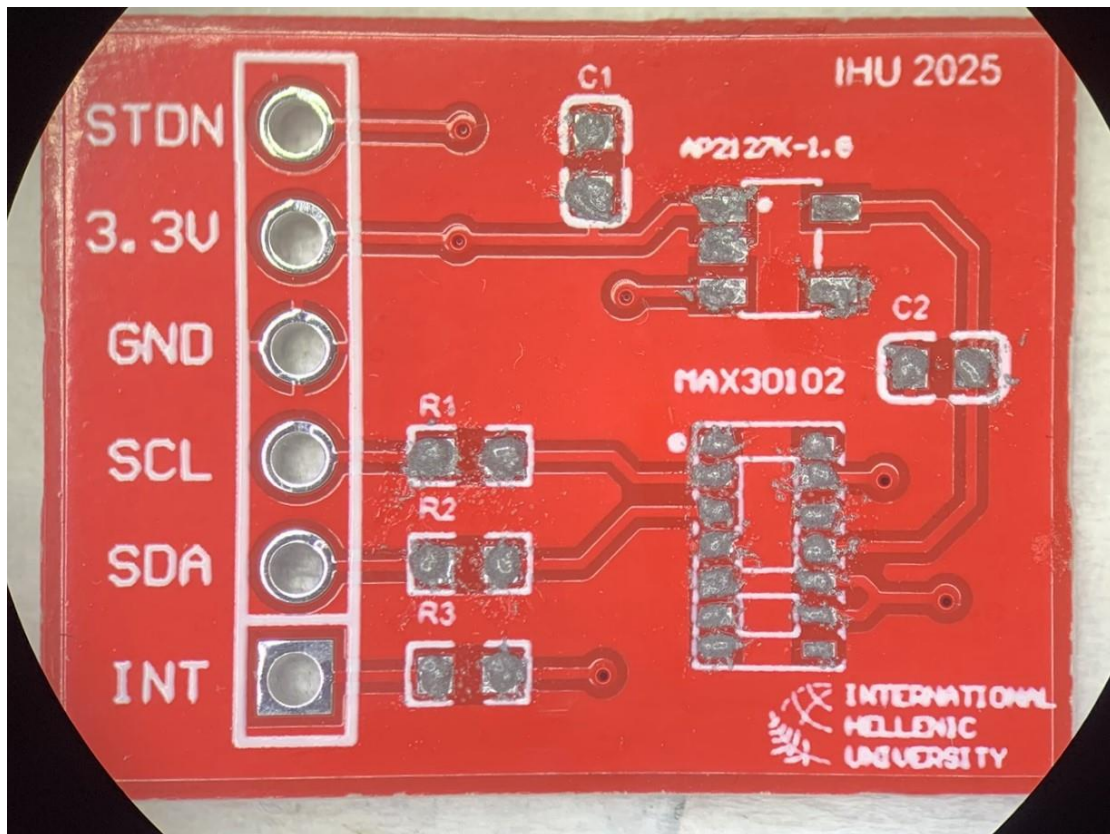
Σχήμα 4.25 - PPG Σύγκριση μεγέθους με νόμισμα

Η επόμενη πλακέτα ολοκληρώθηκε με την χρήση του Reflow Oven που διαθέτει το εργαστήριο ηλεκτρονικών. Θα περιγράψουμε τη διαδικασία που ακολουθήσαμε και τις δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε και είχαμε πολύ καλό αποτέλεσμα.



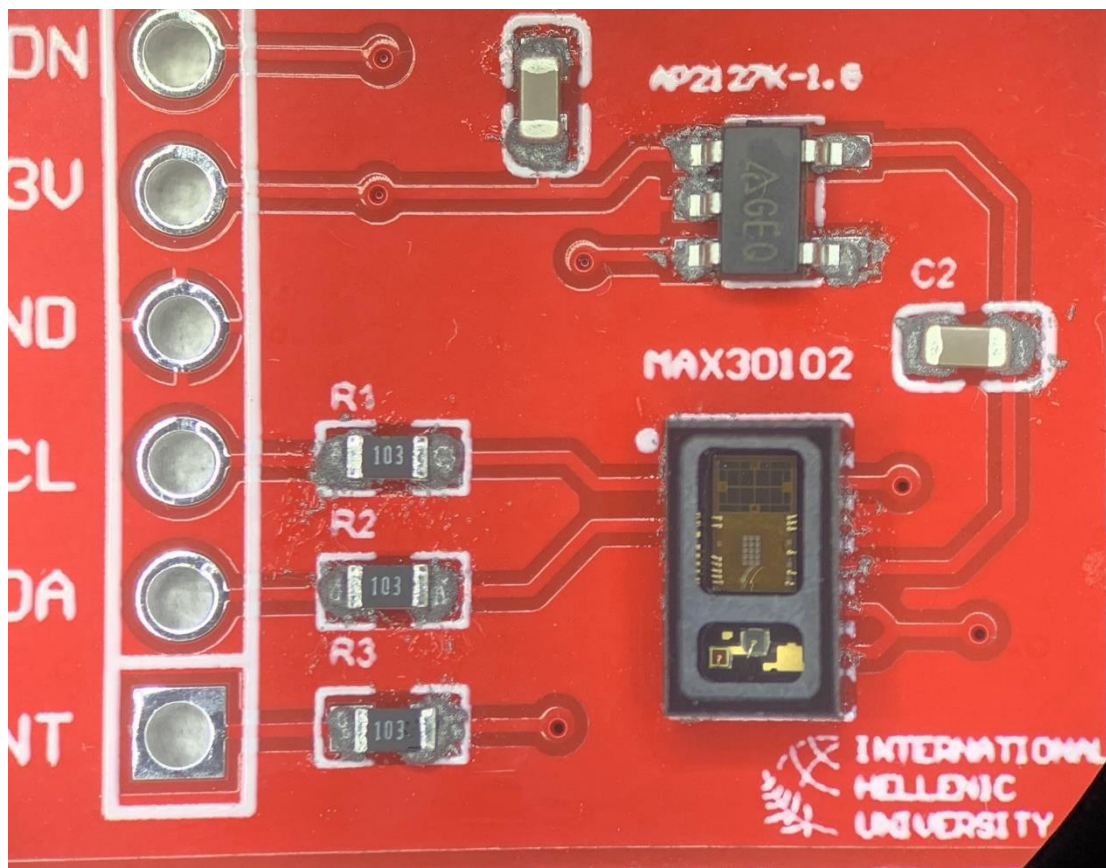
Σχήμα 4.26 - PPG Προετοιμασία πλακέτας για το φούρνο αναθέρμανσης

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τον φούρνο αναθέρμανσης θα πρέπει να περάσουμε σε όλα τα σημεία της πλακέτας που πρέπει να τοποθετηθούν εξαρτήματα, πάστα κόλλησης (solder paste) με τη χρήση ειδικού stencil όπου μπορεί να γίνει παραγγελία μαζί με τις πλακέτες. Εφόσον δεν υπάρχει διαθέσιμο το stencil θα φροντίσουμε να αφήσουμε με το χέρι και τη βοήθεια του μικροσκοπίου όση ποσότητα πάστας χρειάζεται σε κάθε σημείο κόλλησης.



Σχήμα 4.27 - PPG Απόθεση πάστας συγκόλλησης στην πλακέτα

Το πρώτο βήμα λοιπόν, στο Σχήμα 4.27 βλέπουμε πως έχουμε τοποθετήσει την πάστα κόλλησης σε όλα τα σημεία έχουν διατηρηθεί οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων για να μην έχουμε Bridges.



Σχήμα 4.28 - PPG Τοποθέτηση και ευθυγράμμιση εξαρτημάτων στην πλακέτα

Το επόμενο βήμα βρίσκεται στο Σχήμα 4.28 όπου έχουμε τοποθετήσει ένα ένα τα υλικά επάνω στην πλακέτα και βλέπουμε πως η πάστα τα συγκρατεί στη θέση τους και δεν μετακινούνται εύκολα. Οπότε μπορούμε να πάρουμε την πλακέτα και να την τοποθετήσουμε στον Reflow Oven για να θερμάνει την πλακέτα και να κολλήσουν όλα μαζί ταυτόχρονα μόλις φτάσει στη θερμοκρασία τήξης της πάστας, που είναι πάνω από 183°C.

Ακολουθούν εικόνες από τον Φούρνο αναθέρμανσης και του προφίλ θερμοκρασίας όπου έχει επιλεγεί. Επίσης βλέπουμε στο Σχήμα 4.29 πόσο μικροσκοπική είναι η πλακέτα σε σχέση με το φούρνο.



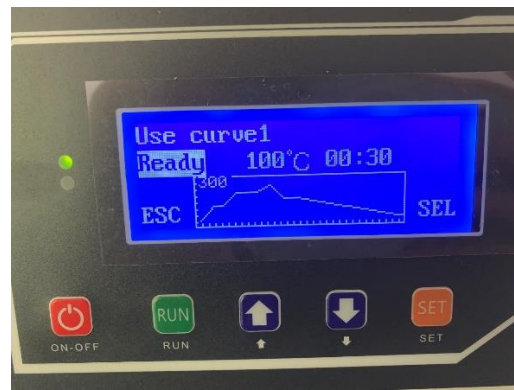
Σχήμα 4.29 - PPG Τοποθέτηση πλακέτας στον φούρνο αναθέρμανσης



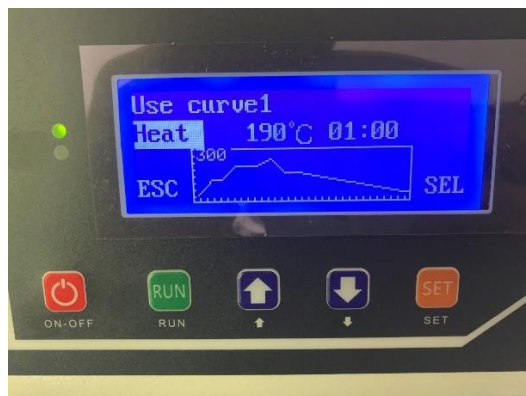
Σχήμα 4.30 - PPG Τοποθέτηση πλακέτας στον φούρνο αναθέρμανσης



Σχήμα 4.31 – Προφίλ Θερμοκρασίας



Σχήμα 4.32 - Προφίλ Θερμοκρασίας



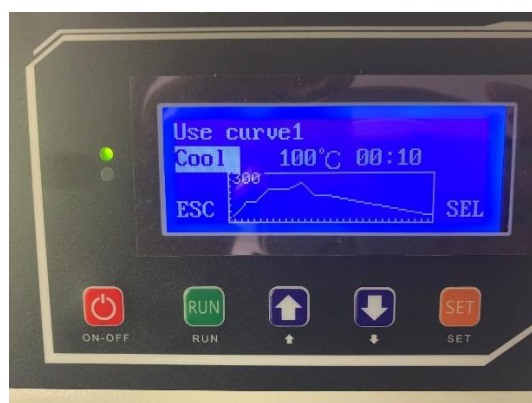
Σχήμα 4.33 - Προφίλ Θερμοκρασίας



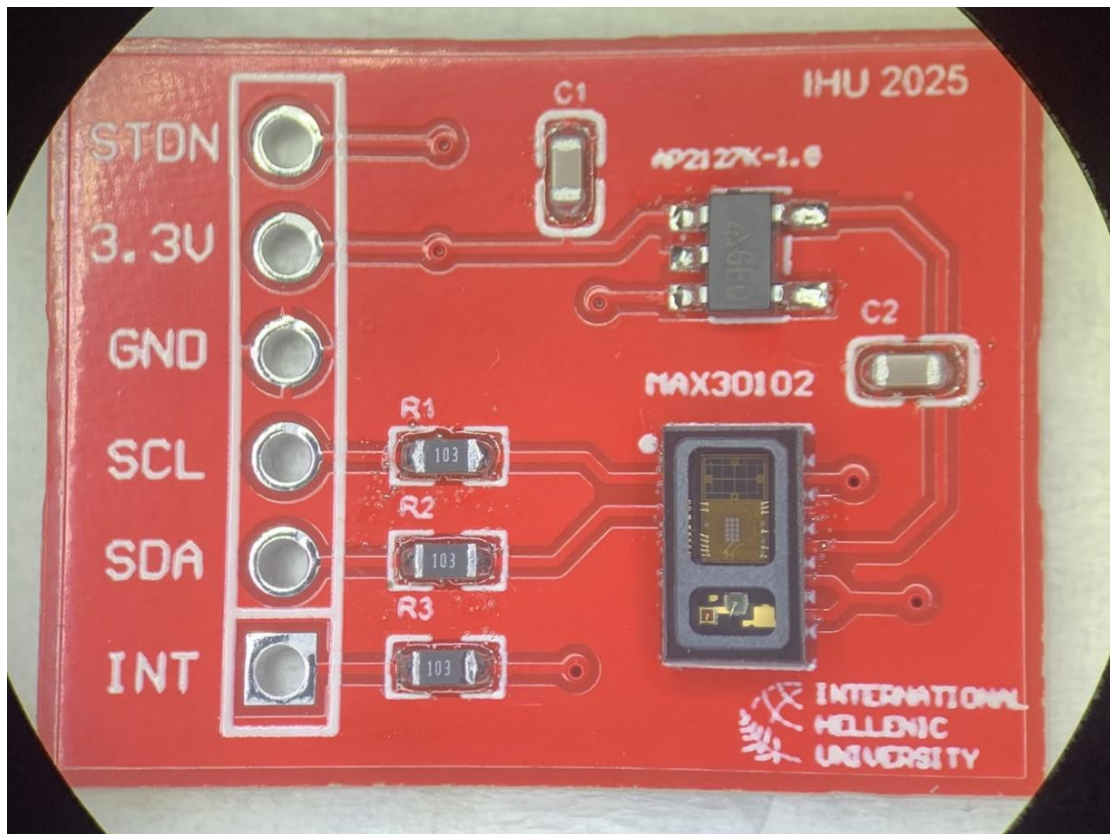
Σχήμα 4.34 - Προφίλ Θερμοκρασίας



Σχήμα 4.35 - Προφίλ Θερμοκρασίας

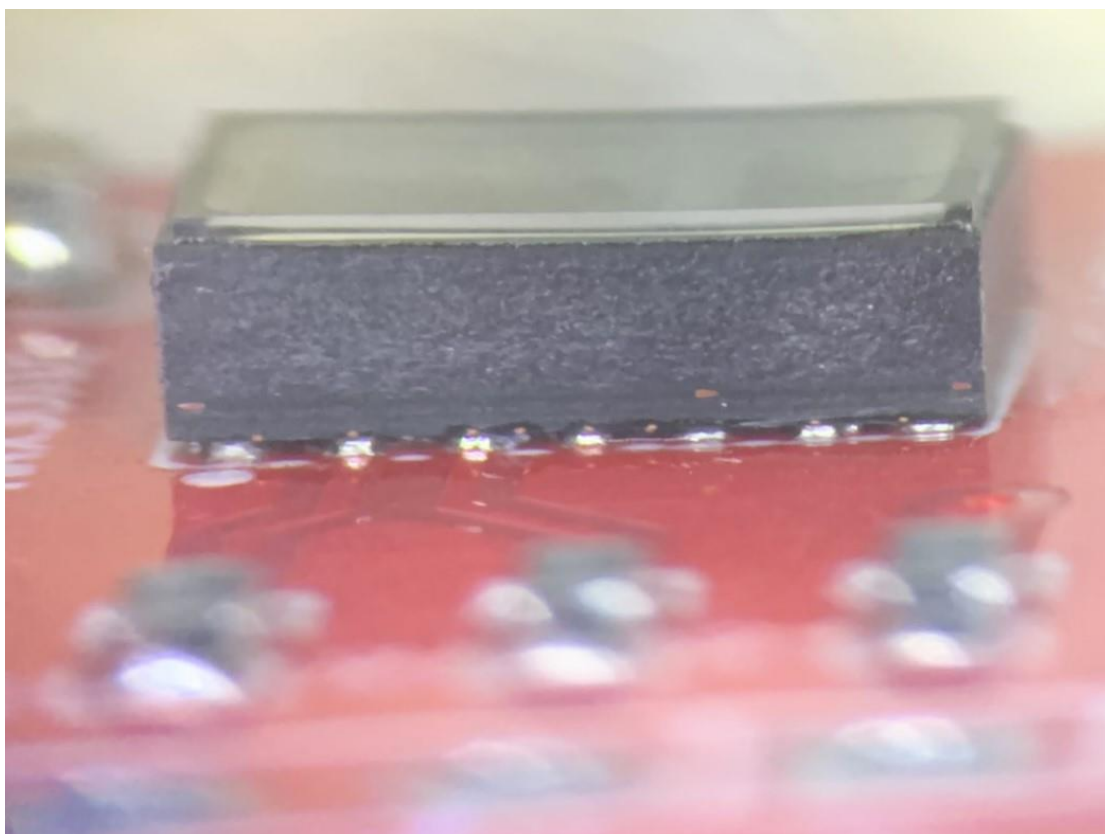


Σχήμα 4.36 - Προφίλ Θερμοκρασίας



Σχήμα 4.37 - PPG Τελικό αποτέλεσμα μετά την αφαίρεση της πλακέτας από το φούρνο αναθέρμανσης

Στο Σχήμα 4.37 βλέπουμε το τελικό αποτέλεσμα το οποίο είναι εντυπωσιακό, δεν υπήρξε κάποια αστοχία και όλα τα υλικά έχουν συγκολληθεί με 100% επιτυχία. Έχουν ευθυγραμμιστεί σωστά και δεν έχουμε καμία κακή, ψυχρή κόλληση ή κάποιο Bridge. Θα γίνει καθαρισμός με ισοπροπυλική αλκοόλη και ειδικό μαντιλάκι καθαρισμού με μεγάλη προσοχή στον αισθητήρα καθώς δεν θέλουμε να έρθει σε επαφή με οποιοδήποτε υγρό, θα πρέπει να διατηρηθεί καθαρό το γυαλί του προκειμένου να υπάρξει ακρίβεια στις μετρήσεις που θα κάνει.

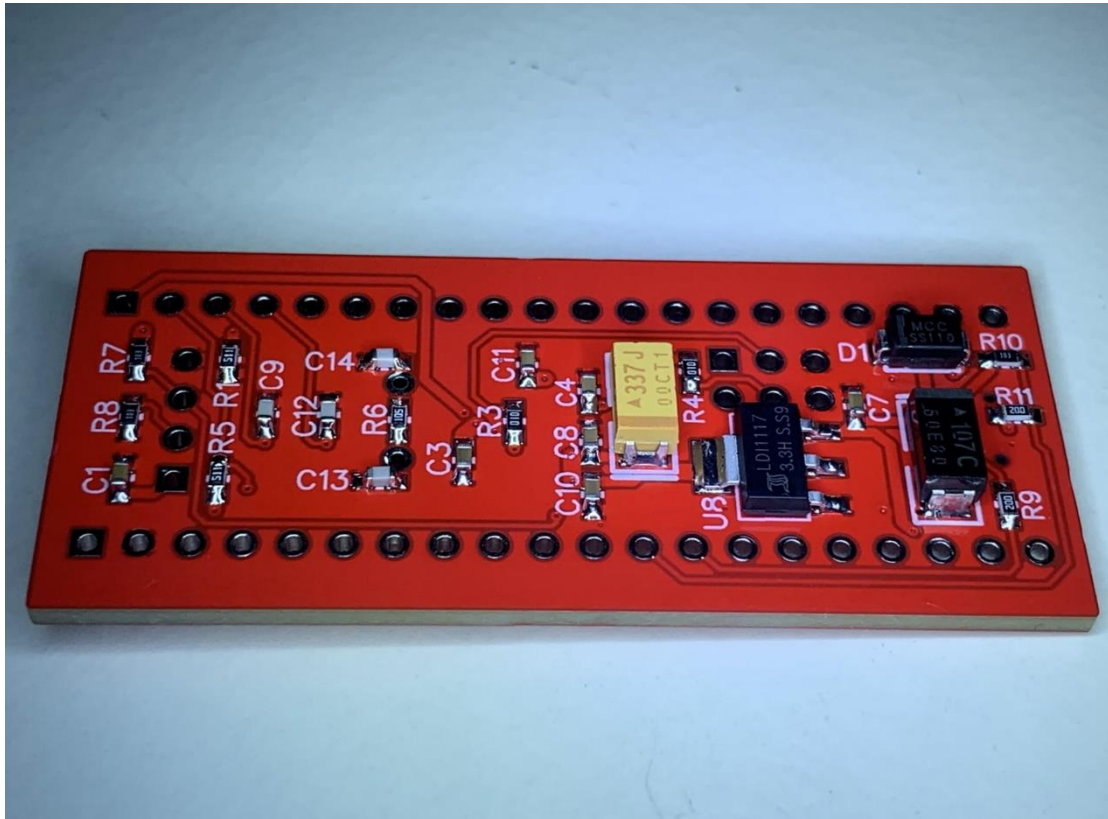


Σχήμα 4.38 - PPG Τελικό αποτέλεσμα συγκόλλησης του αισθητήρα MAX30102 με τη χρήση μικροσκοπίου

Στο Σχήμα 4.38, βλέπουμε μέσω του μικροσκοπίου τις κολλήσεις του αισθητήρα. Έχουν ομοιομορφία, δεν έχουν κενά και όλες φαίνονται πως έχουν ενσωματωθεί στα pads που πρέπει να κολλήσουν.

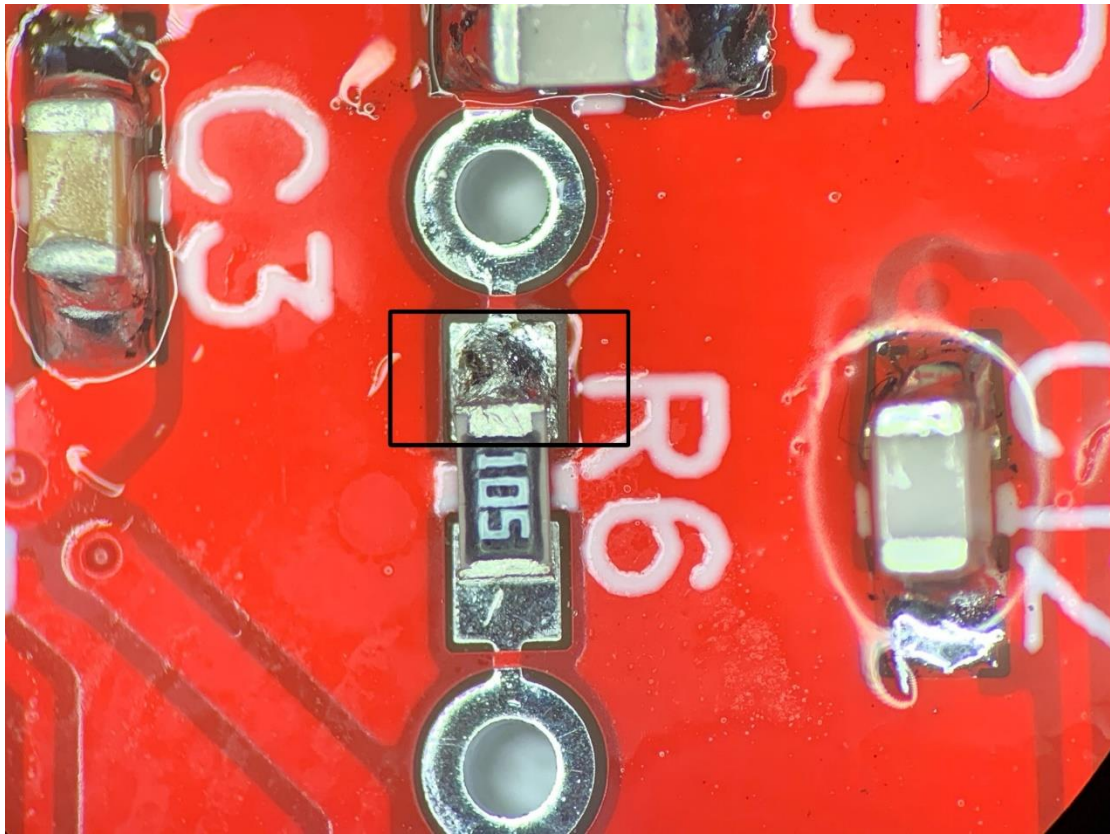
4.3 Συγκόλληση των εξαρτημάτων Μικροελεγκτή

Αφού τελειώσαμε τις κολλήσεις των εξαρτημάτων του PPG PCB περνάμε στη συγκόλληση των εξαρτημάτων στην πλακέτα του μικροελεγκτή.



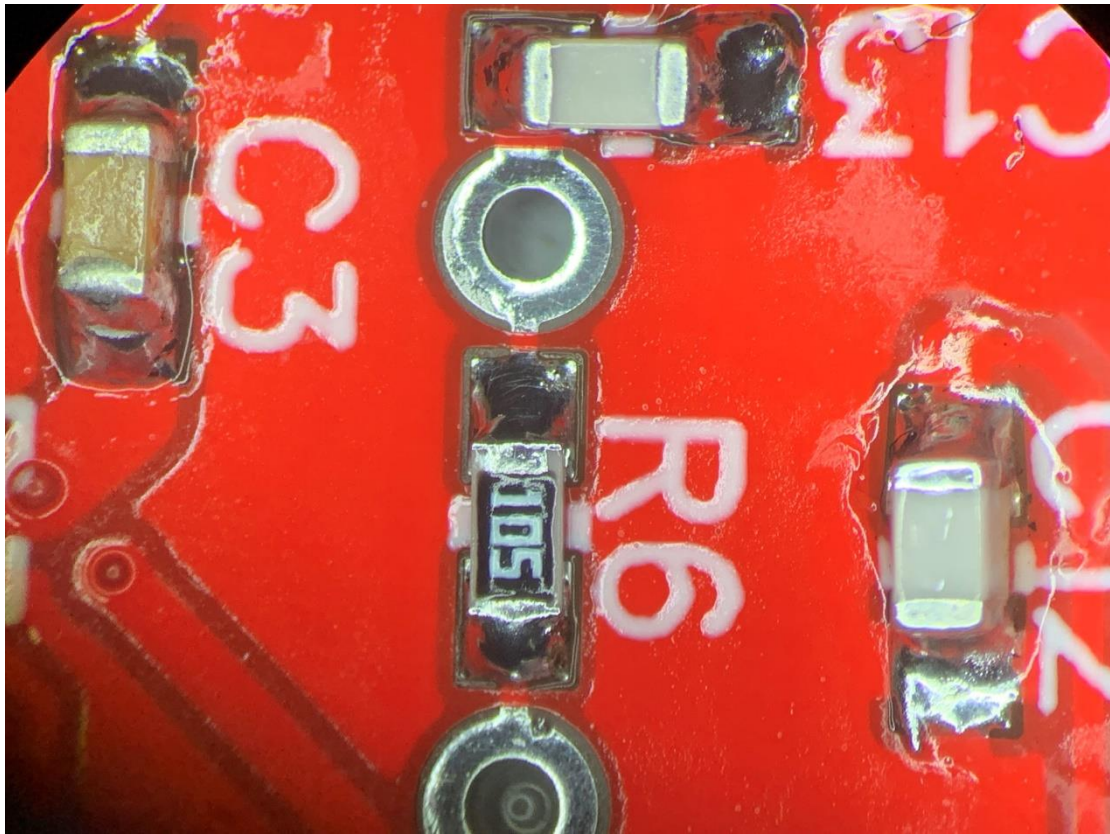
Σχήμα 4.39 - Bluepill Συγκόλληση SMD εξαρτημάτων

Ξεκινάμε να τοποθετούμε τα υλικά με την ίδια λογική όπως και στην προηγούμενη διάταξη, πρώτα θα κολλήσουμε τα πιο ανθεκτικά και τέλος τα πιο ευαίσθητα για να μην καταπονούνται από θερμοκρασίες τα υλικά που καταστρέφονται εύκολα. Επίσης σε αυτή τη διάταξη πρέπει να προσέξουμε και κάτι ακόμη, να μην τοποθετήσουμε κάποιο εξάρτημα και δεν μας μείνει χώρος να βάλουμε κάποιο άλλο. Δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε τους Headers (Ακροδέκτες) καθώς δεν θα μπορούμε να κολλήσουμε τα υπόλοιπα, θα εμποδίζουν.



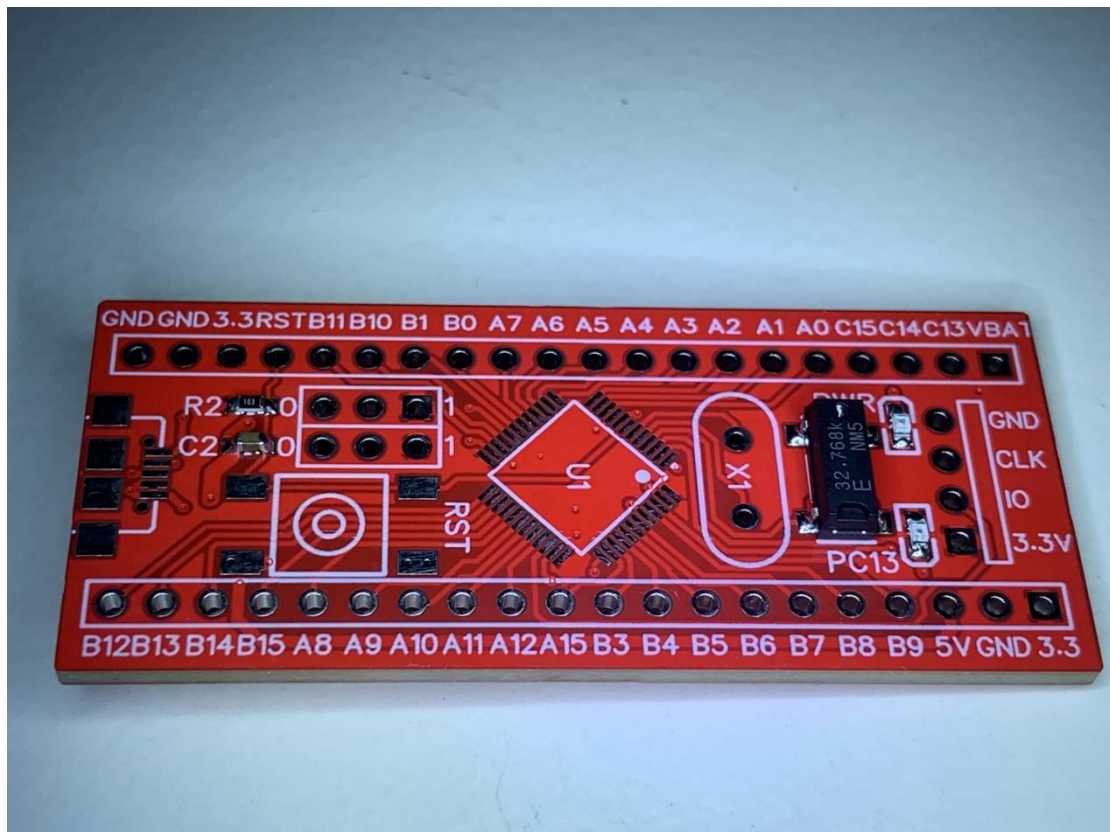
Σχήμα 4.40 - Bluepill SMD Ψυχρή κόλληση αντίστασης 0603

Στο Σχήμα 4.40, βλέπουμε την κυκλωμένη κόλληση πως δεν είναι γυαλιστερό το χρώμα της και είναι τσαλακωμένη η επιφάνειά της. Πρόκειται για μια ψυχρή κόλληση την οποία θα διορθώσουμε στην επόμενη φάση. Έγινε ψυχρή καθώς έμεινε αρκετή ώρα σε υψηλή θερμοκρασία και το Flux εξατμίστηκε. Θα το διορθώσουμε με λίγη φρέσκια κόλληση και νέο Flux.



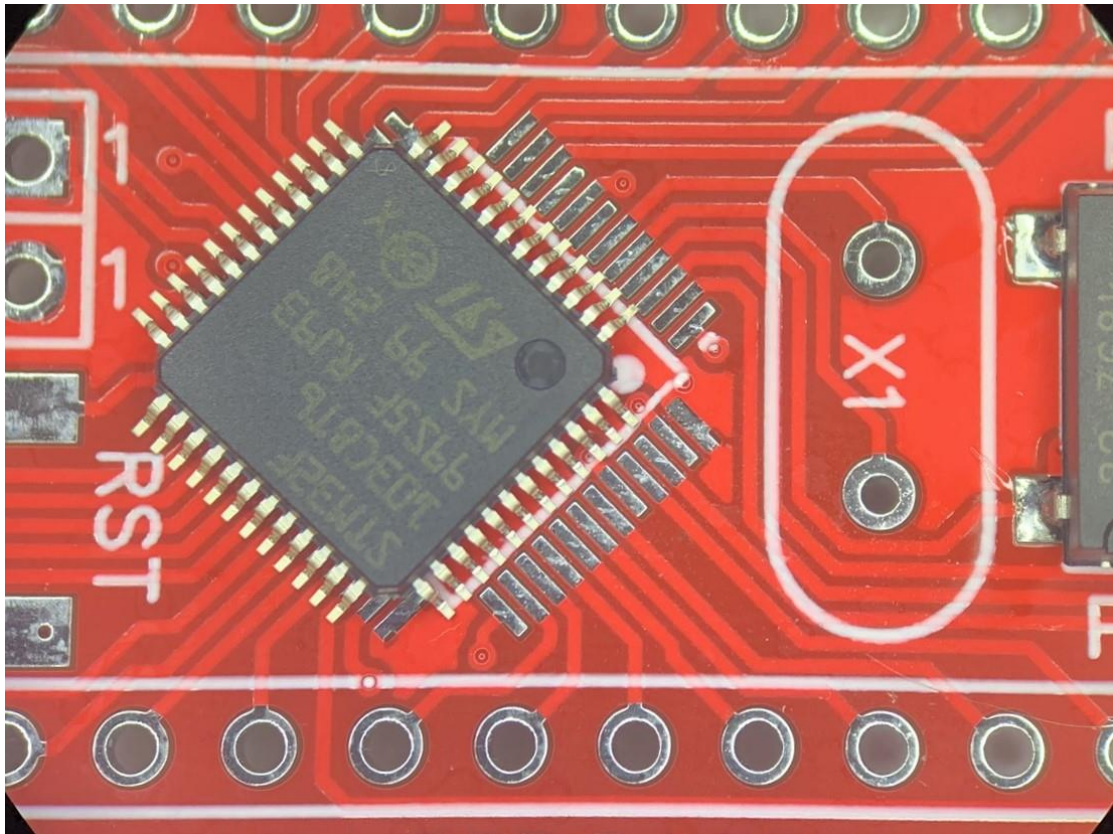
Σχήμα 4.41 – Bluepill Διόρθωση ψυχρής κόλλησης της αντίστασης SMD 0603

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.41, έχει ολοκληρωθεί η τοποθέτηση της αντίστασης και οι κολλήσεις έχουν γυαλιστερό χρώμα και έχουν λεία επιφάνεια.



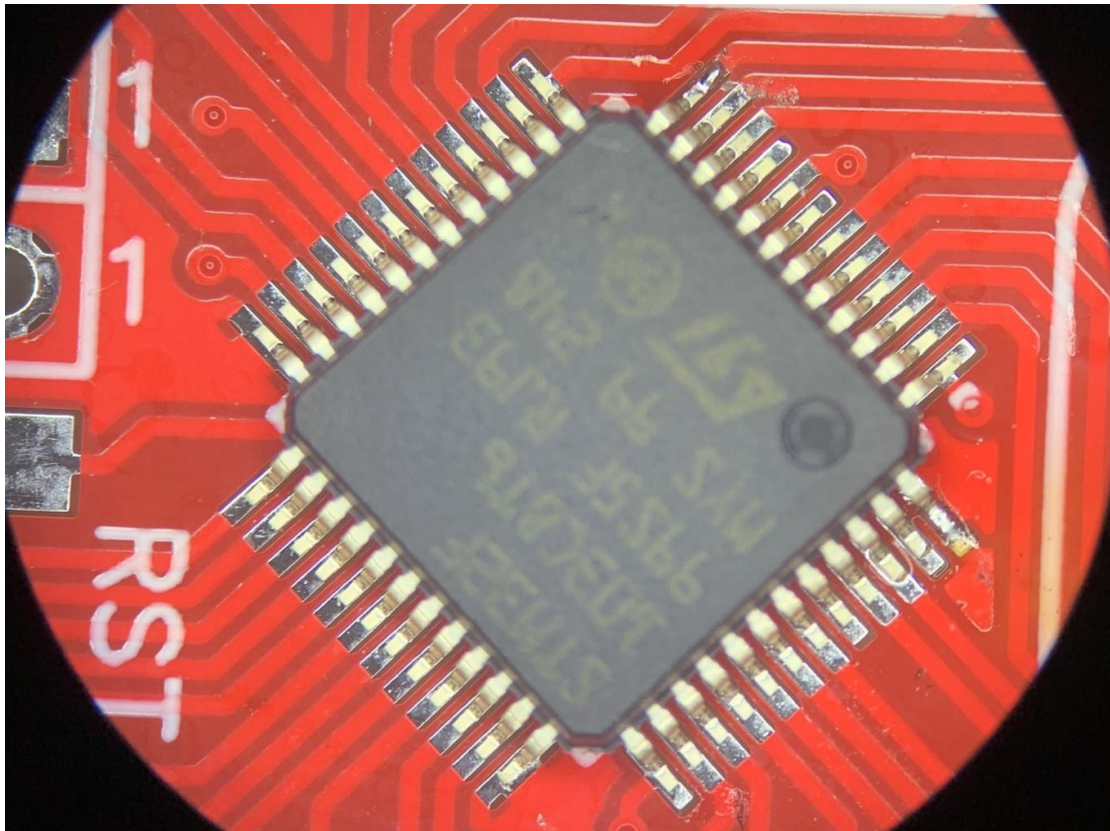
Σχήμα 4.42 - Bluepill Συγκόλληση SMD LED και κρυστάλλου

Έχουμε τοποθετήσει τα Led δίνοντας προσοχή στην πολικότητα και το ολοκληρωμένο κύκλωμα του κρυστάλλου. Θα παρατηρήσουμε πως στο ένα από τα δύο Led αναγράφεται PC13, αυτό σημαίνει πως το Led αυτό είναι συνδεδεμένο στην έξοδο PC13 του μικροελεγκτή. Μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για να κάνουμε έλεγχο λειτουργίας του μικροελεγκτή προγραμματίζοντάς το να κάνει Blink για να σιγουρευτούμε πως έχουμε πρόσβαση στη μνήμη του ελεγκτή μόλις ολοκληρωθεί το project.



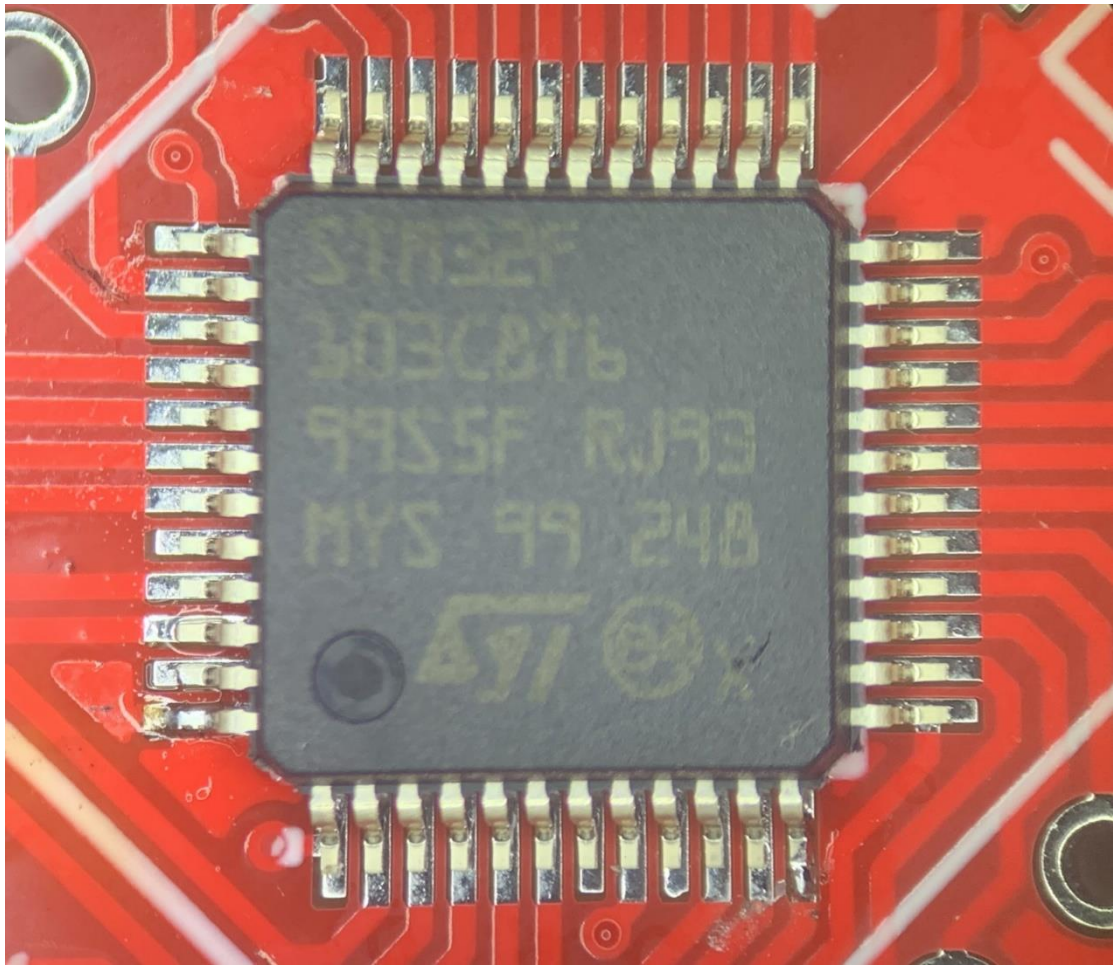
Σχήμα 4.43 - Bluepill Ευθυγράμμιση μικροελεγκτή

Τοποθετούμε τον μικροελεγκτή στην πλακέτα προσέχοντας την θέση στην οποία θα το κολλήσουμε, η πλακέτα έχει άσπρη κουκίδα που μας δηλώνει πως εκεί πρέπει να συνδεθεί ο ακροδέκτης No.1 και το ολοκληρωμένο κύκλωμα έχει και αυτό την κουκίδα που μας βοηθά στο να βρούμε τη σωστή θέση του.



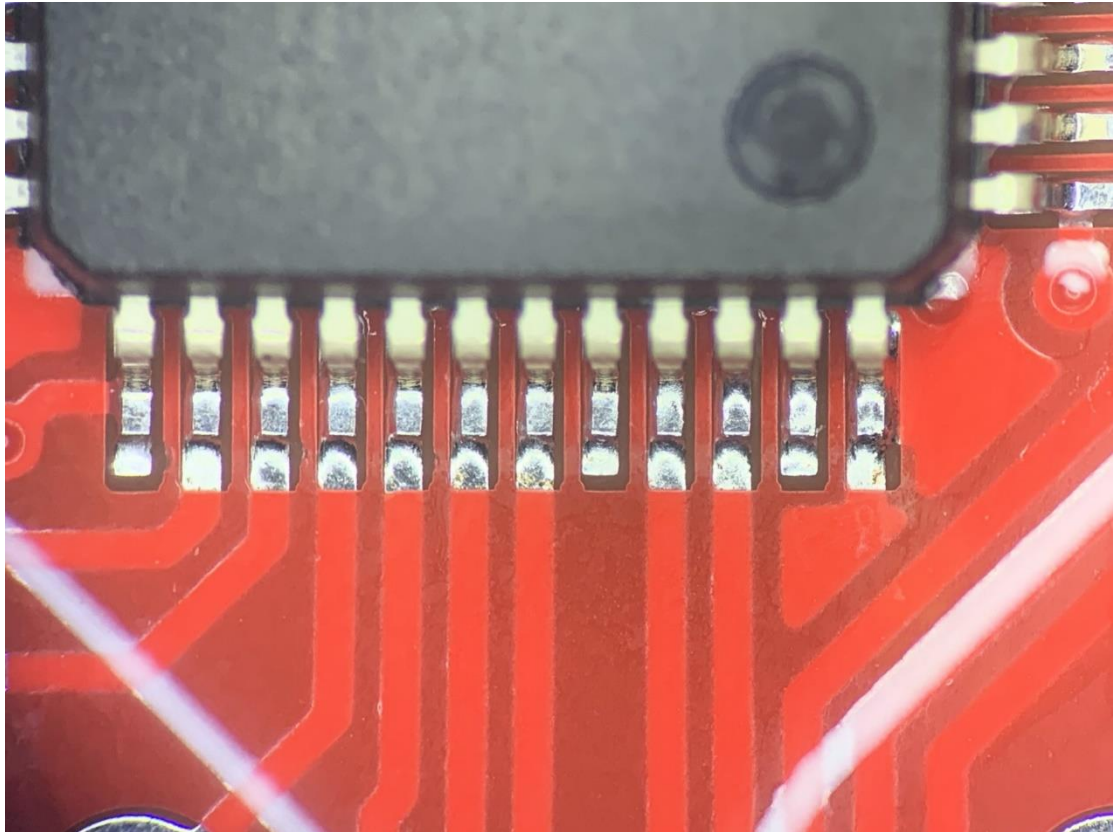
Σχήμα 4.44 - Bluepill Συγκόλληση μερικών ακροδεκτών για τη σταθεροποίηση του μικροελεγκτή

Έχοντας ευθυγραμμίσει τον μικροελεγκτή μας στα pads, κάνουμε κάποιες κολλήσεις στους ακροδέκτες στις άκρες για να μείνει σταθερό και έπειτα κάνουμε καλό οπτικό έλεγχο για να σιγουρευτούμε πως είναι ακριβώς στο κέντρο όλων των pins.



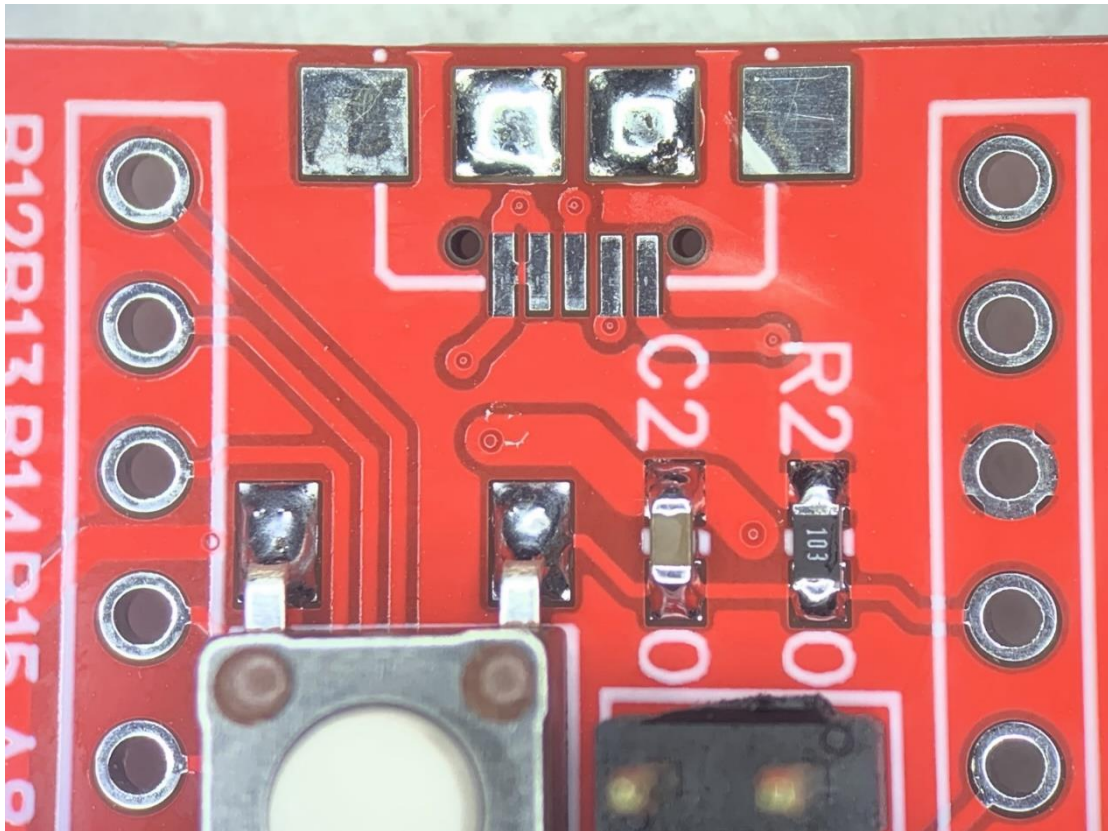
Σχήμα 4.45 - Bluepill Συγκόλληση του μικροελεγκτή

Φροντίζουμε να το δούμε από όλες τις πλευρές πως δεν μας έχει ξεφύγει κάποιο pin και πως όλοι οι ακροδέκτες ακουμπάνε σωστά στην πλακέτα. Πρέπει να προσέξουμε ιδιαίτερα την κόλληση αυτού του ολοκληρωμένου καθώς είναι καθοριστικής σημασίας για τη σωστή λειτουργία του microcontroller. Καλό είναι η κάτω επιφάνεια του ολοκληρωμένου να αγγίζει την πλακέτα, θα βοηθήσει στην ψύξη αυτού για να αποφύγουμε το ενδεχόμενο υπερθέρμανσης και κατά συνέπεια μείωση της διάρκειας ζωής του.



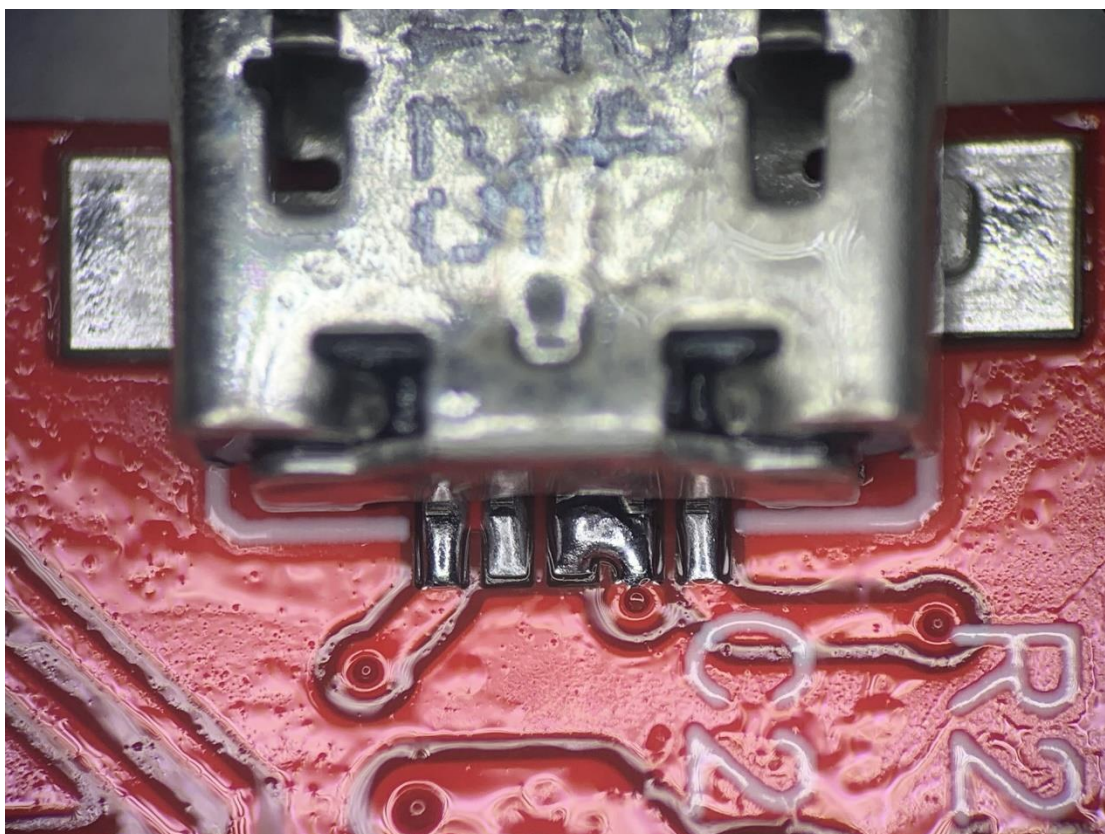
Σχήμα 4.46 - Bluepill Έλεγχος ποιότητας κολλήσεων μικροελεγκτή στο μικροσκόπιο

Στο Σχήμα 4.46, βλέπουμε πως οι κολλήσεις είναι ομοιόμορφες και πως δεν υπάρχουν bridges ανάμεσα στους ακροδέκτες. Για τη συγκόλληση του μικροελεγκτή, φροντίσαμε να μην τοποθετήσουμε εξαρτήματα που θα δυσκόλευαν τη συγκόλληση όπως τα Headers ή το Reset Button.



Σχήμα 4.47 – Bluepill Απόθεση κασσιτέρου κάτω από τη θύρα USB

Ένα πολύ σημαντικό εξάρτημα στην πλακέτα είναι το micro USB port. Επειδή θα έχει πολλές μηχανικές καταπονήσεις θα πρέπει να το στηρίζουμε με κάθε δυνατό τρόπο. Για το λόγο αυτό έχουμε γεμίσει με καλάνι την επιφάνεια κάτω από την θύρα και η αρχική τοποθέτηση θα γίνει με θερμό αέρα. Αυτό θα μας εξασφαλίσει καλύτερο κράτημα και μεγαλύτερη αντοχή στις μηχανικές πιέσεις.

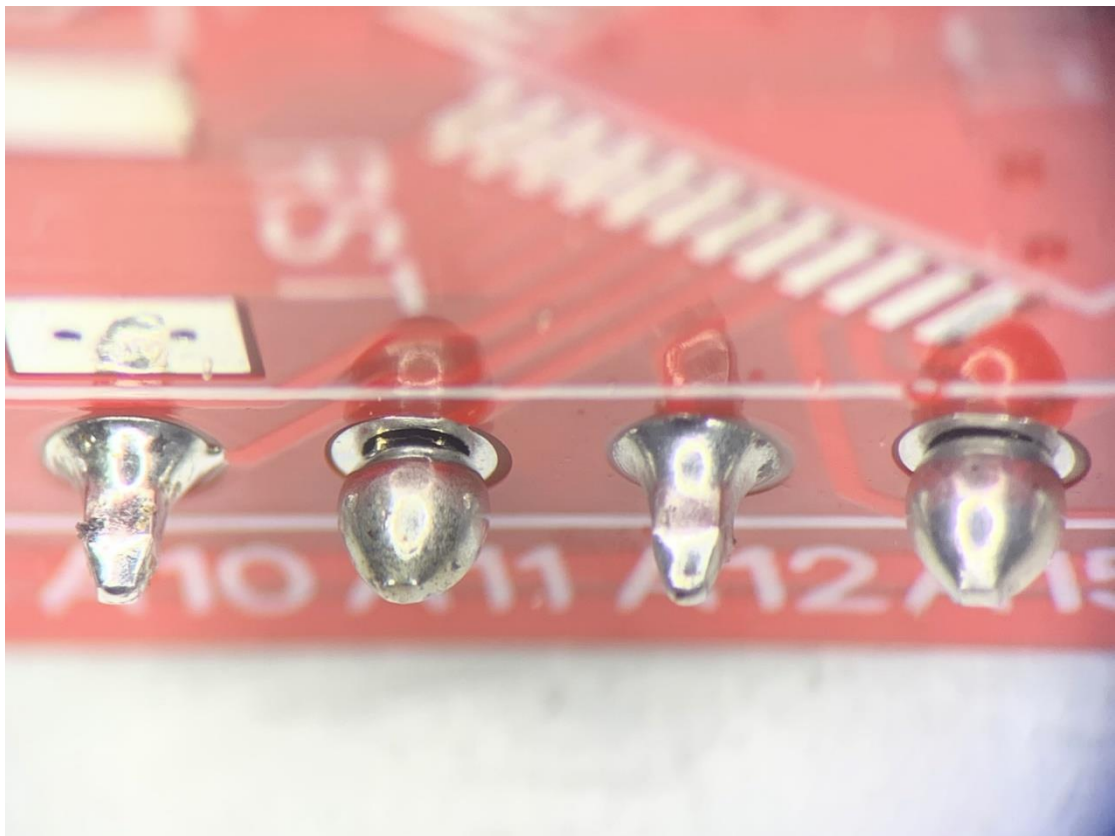


Σχήμα 4.48 – Bluepill βραχυκυκλώμα στους ακροδέκτες της θύρας Micro USB

Ιδιαίτερη σημασία έχει, τα pins της υποδοχής micro USB να είναι άρτια και να έχουν αρκετή κόλληση για να συγκρατούν και αυτά το πλαστικό μέρος της. Έχει παρατηρηθεί πως πολλές φορές σε κινητές συσκευές smartphone ή και άλλες που χρησιμοποιούν ίδιου τύπου θύρα, ενώ οι βάσεις είναι καλά κολλημένες να υποχωρούν οι κολλήσεις των pins με αποτέλεσμα να χάνεται η σύνδεση με την υπόλοιπη πλακέτα.

Για το λόγο αυτό δίνουμε πολύ προσοχή και στους ακροδέκτες της θύρας αλλά και στις βάσεις.

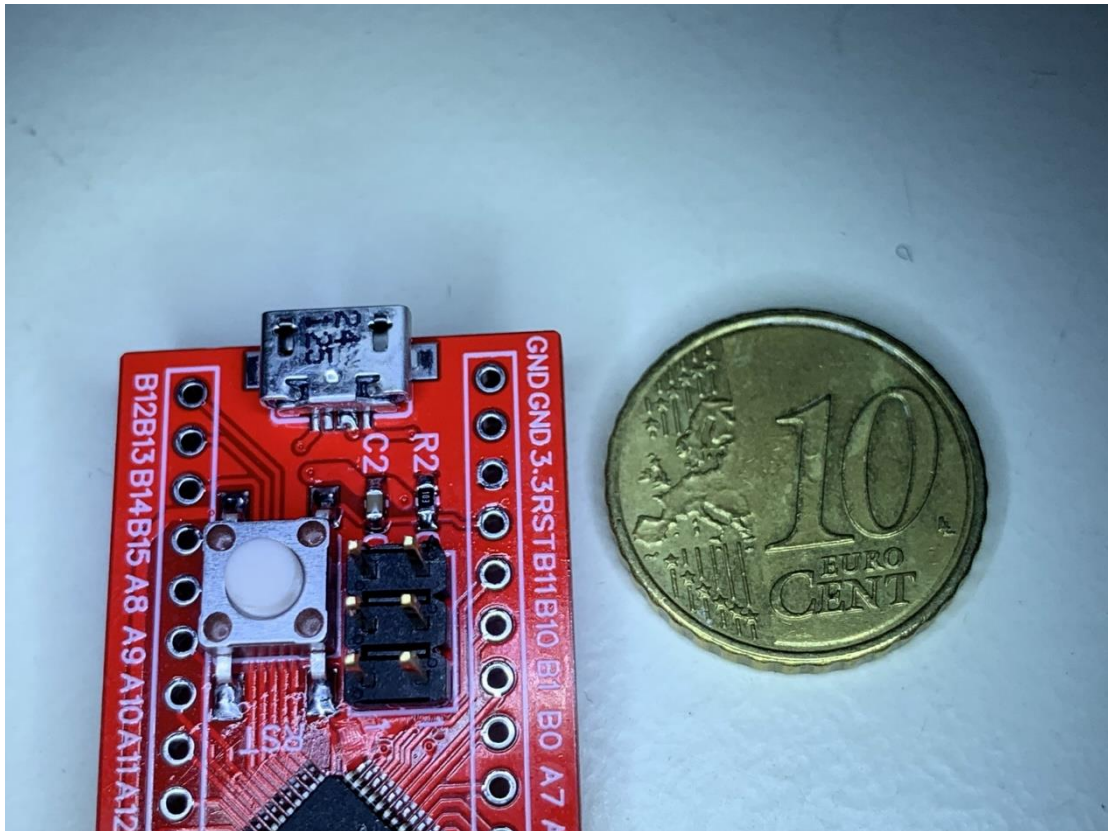
Στο Σχήμα 4.48 βλέπουμε πως υπάρχει παραπάνω κόλληση σε 2 pins και είναι βραχυκυκλωμένα. Θα πρέπει να το διορθώσουμε, θα κάνουμε χρήση του σύρματος αποκόλλησης (Desolder Wick) για να απορροφήσουμε την περίσσεια κόλληση και να βάλουμε νέα κόλληση.



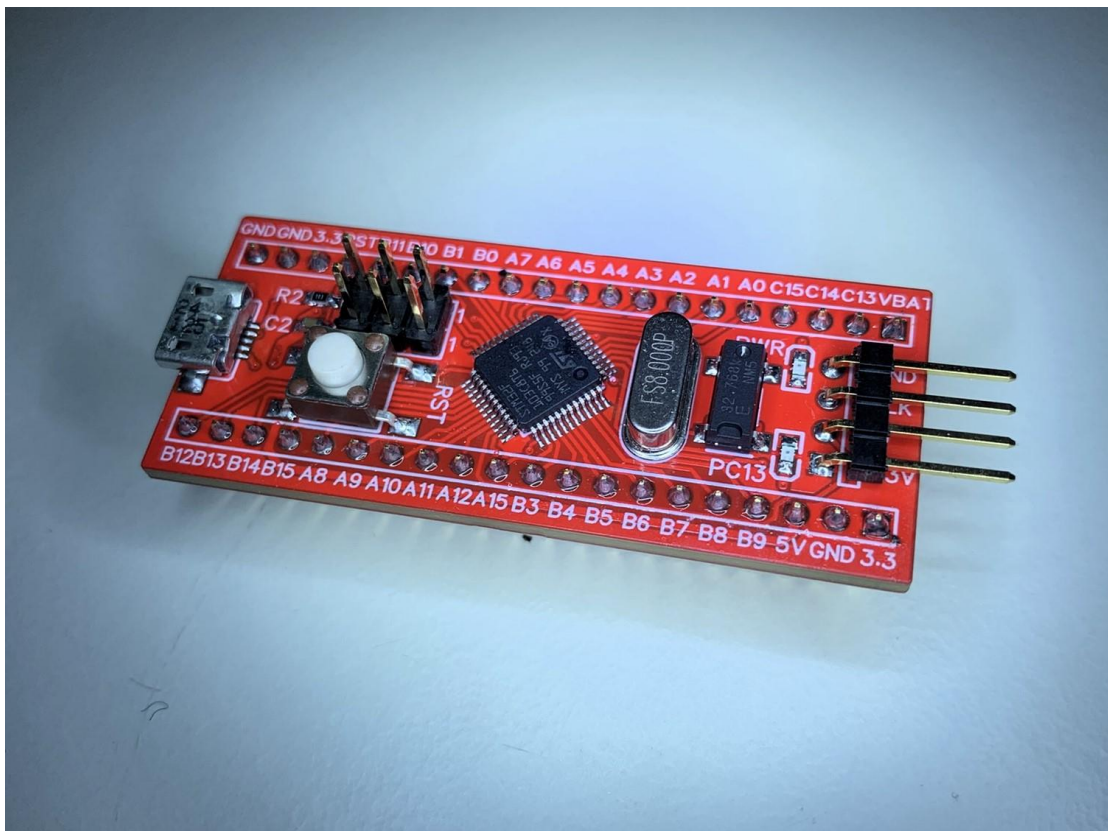
Σχήμα 4.49 - Bluepill Ψυχρή κόλληση ακροδεκτών

Ακόμη ένα παράδειγμα ψυχρής κόλλησης σε 2 ακροδέκτες του Header. Είναι πολύ πιθανό με γυμνό μάτι να μας ξεφύγουν και να μην γίνει αντιληπτό. Όταν κάνουμε μικροσυγκολλήσεις μετά από κάθε εργασία πρέπει να κάνουμε μια οπτική παρατήρηση υπό γωνία και να βλέπουμε όλες τις συνδέσεις μας να είναι άρτιες.

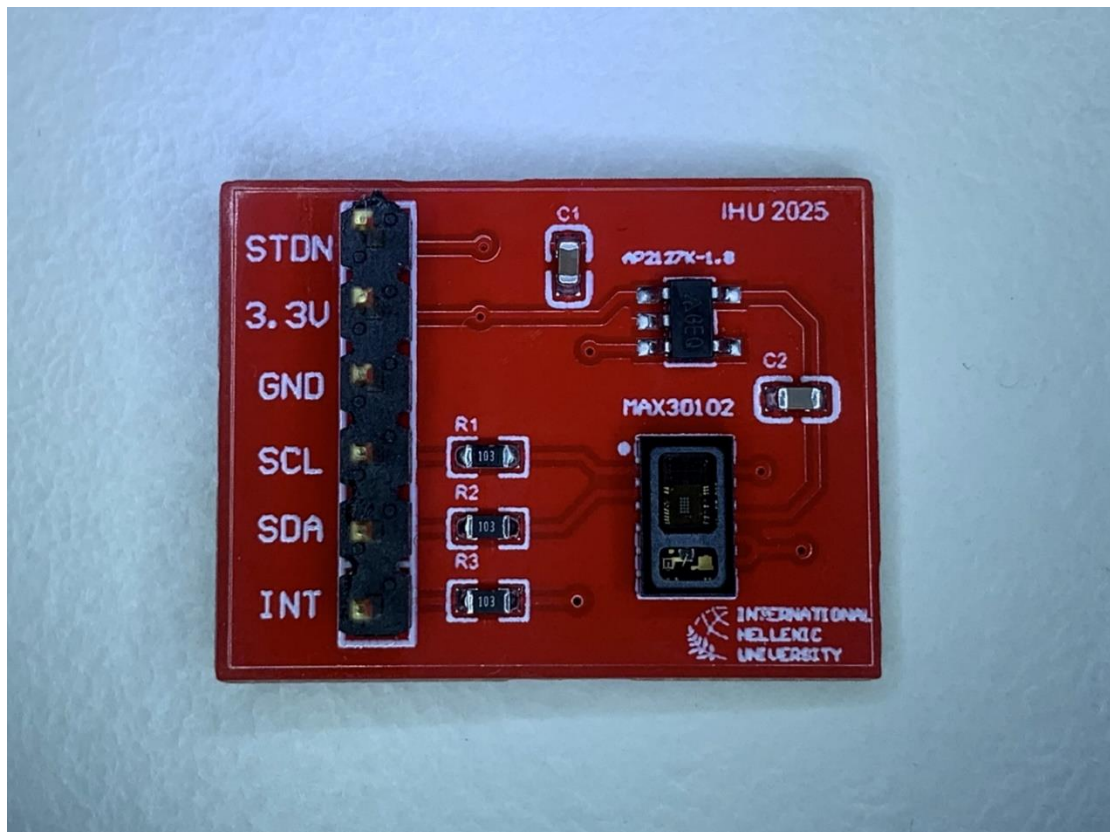
Για τη σωστή συγκόλληση του Header επιλέξαμε διαφορετική μύτη κολλητηριού με μεγαλύτερη επιφάνεια, για να μπορεί να μεταφερθεί η θερμοκρασία στην πλακέτα και να εισχωρήσει η κόλληση γεμίζοντας την οπή μέχρι την πίσω πλευρά της πλακέτας. Θα έχουμε καλύτερη μηχανική στήριξη αλλά θα αποφύγουμε και τις ψυχρές ή και σπασμένες κολλήσεις στο μέλλον.



Σχήμα 4.50 - Bluepill Σύγκριση μεγέθους με νόμισμα



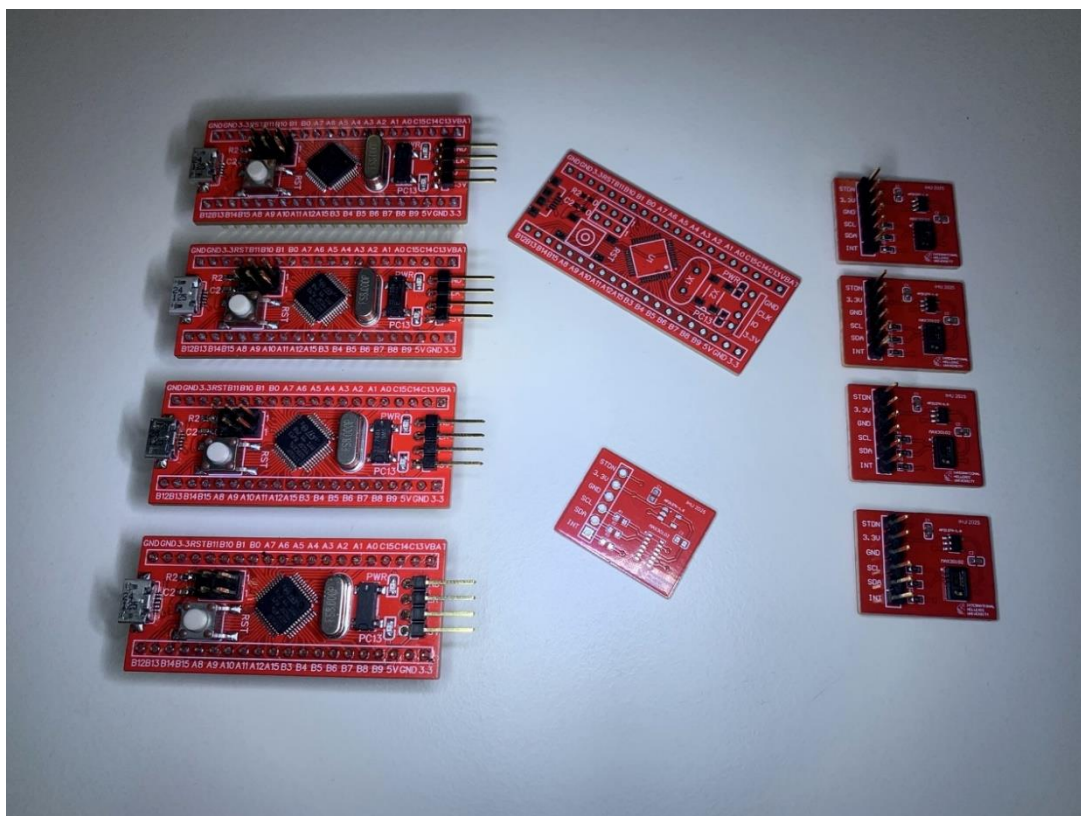
Σχήμα 4.51 - Bluepill Τελικό αποτέλεσμα



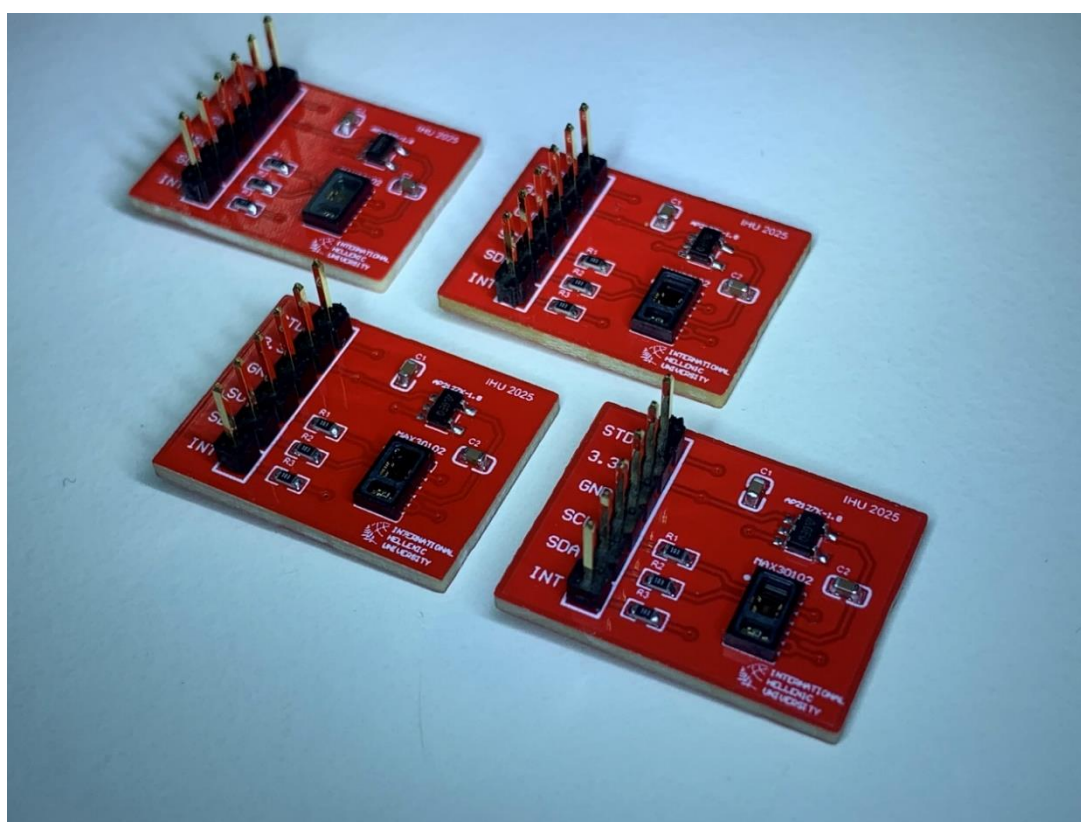
Σχήμα 4.52 - PPG Τελικό αποτέλεσμα

Μόλις ολοκληρώθηκαν οι κολλήσεις, έγινε ξανά οπτικός και ηλεκτρικός έλεγχος των συνδέσεων στα βασικά σημεία, μετρήθηκε ο LDO για να διασφαλίσουμε τη σωστή τροφοδοσία του ελεγκτή και καθαρίσαμε ότι υπολείμματα από Flux υπήρχε πάνω στις πλακέτες και στα εξαρτήματα.

Για τον καθαρισμό χρησιμοποιήσαμε αντιστατική βούρτσα και πανάκι απορροφητικό εμποτισμένο με ισοπροπυλική αλκοόλη.



Σχήμα 4.53 - PCBs Τελικό αποτέλεσμα



Σχήμα 4.54 - PPG Τελικό αποτέλεσμα

4.4 Προγραμματισμός Μικροελεγκτή

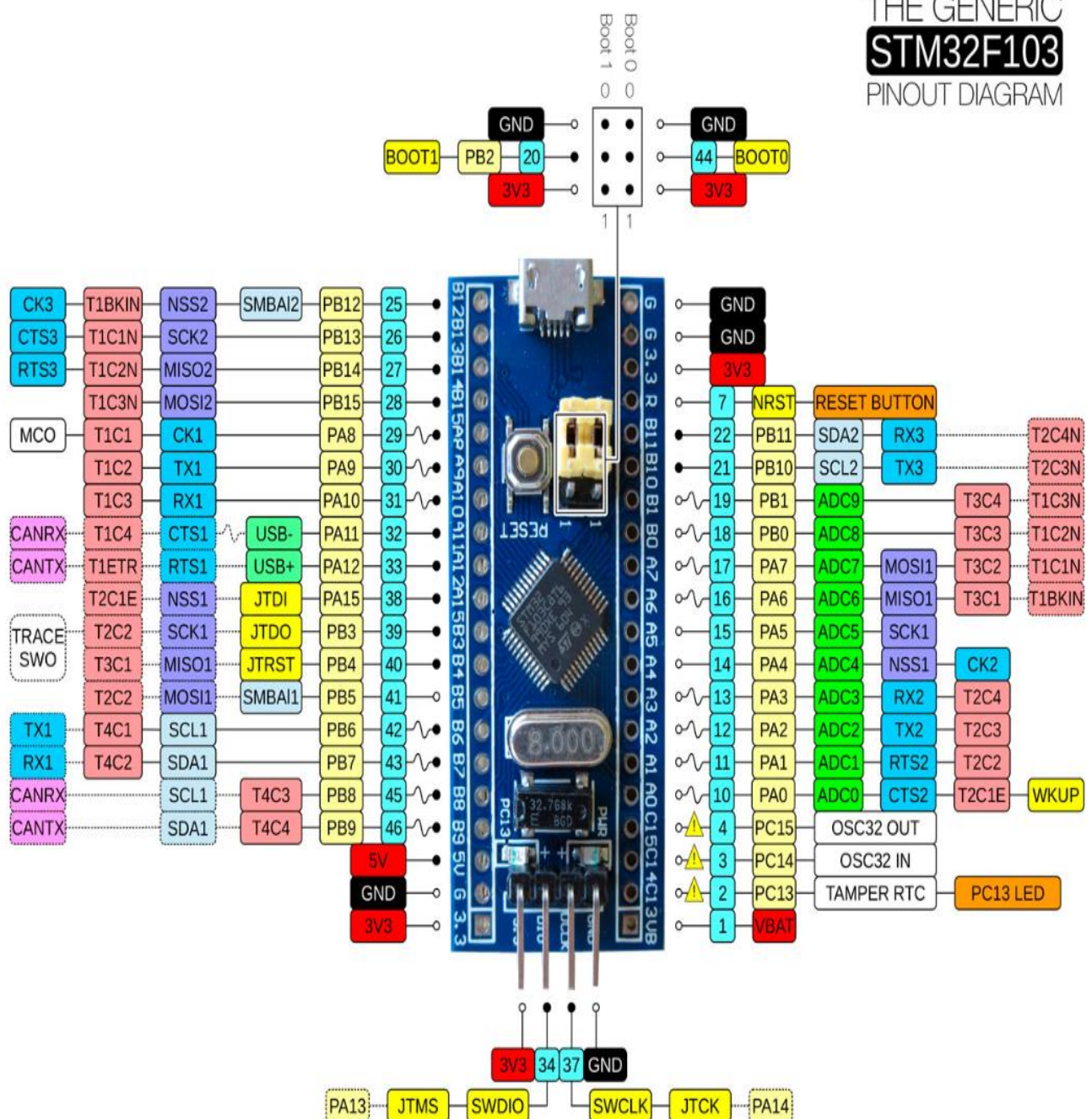
Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τη θύρα micro USB του μικροελεγκτή (Bluepill) θα πρέπει να γράψουμε το software στη μνήμη του controller έτσι ώστε να μπορεί να διαβάσει την θύρα ως μέσο επικοινωνίας με τον υπολογιστή. Για να προγραμματίσουμε το Bluepill και να βάλουμε Bootloader θα χρησιμοποιήσουμε έναν UART Programmer και θα περιγράψουμε τη διαδικασία που ακολουθήσαμε βήμα βήμα αλλά και τη συνδεσμολογία που κάναμε με το UART.

- Η σύνδεση θα γίνει στις θύρες RX – TX του μικροελεγκτή, συνδέοντας το PIN 21 (TX) στην είσοδο RX του UART και την έξοδο TX του UART στο PIN 22 (RX) του Bluepill.
- Ρυθμίζουμε την έξοδο του UART με τη χρήση του Jumper στα 3.3V και συνδέουμε την τροφοδοσία του UART σε κάποιο PIN του Bluepill που είναι στη γραμμή των 3.3V.
- Τέλος, για την ολοκλήρωση της συνδεσμολογίας θα χρειαστεί να συνδέσουμε και τα δύο GND μεταξύ τους για να έχουν κοινή γείωση.

THE GENERIC STM32F103 PINOUT DIAGRAM

LEGEND

POWER
GROUND
PHYSICAL PIN
PIN NAME
CONTROL
ANALOG
TIMER & CHANNEL
USART
SPI
I2C
CAN BUS
USB
MISC
BOARD HARDWARE
5V tolerant
Not 5V tolerant
PWM pin
Alternate function
PC13,PC14,PC15: Sink max 3mA, source 0mA, max 2mhz, max 30pF
Absolute MAX 150mA total source/sink for entire CPU
Max ±20mA per pin, ±8mA recommended

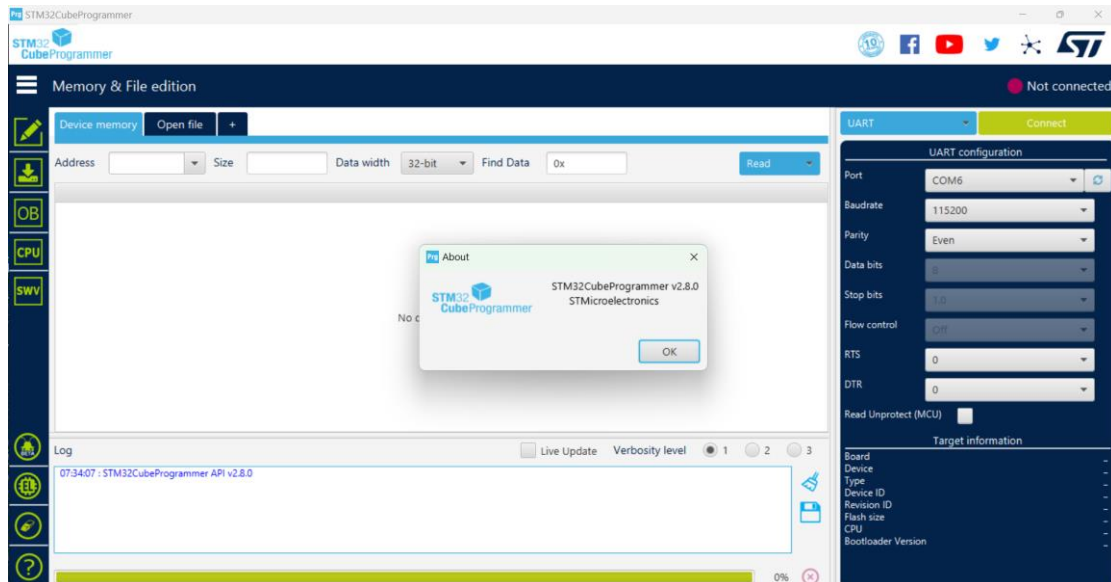


Σχήμα 4.55 - Bluepill Διάγραμμα ακροδεκτών [7]

- Δεν θα χρειαστεί να δώσουμε τροφοδοσία στο Bluepill καθώς το UART θα είναι συνδεδεμένο στον υπολογιστή και μέσω αυτού τροφοδοτείται και η πλακέτα του μικροελεγκτή. Οπότε, συνδέουμε το UART σε μια θύρα USB στον υπολογιστή.
- Θα πρέπει να μετακινήσουμε το Jumper της θέσης BOOT0 από τη θέση 0 στη θέση 1 για να ενεργοποιηθεί η λειτουργία προγραμματισμού.
- Το Jumper της θέσης BOOT1 παραμένει στη θέση 0 κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού.

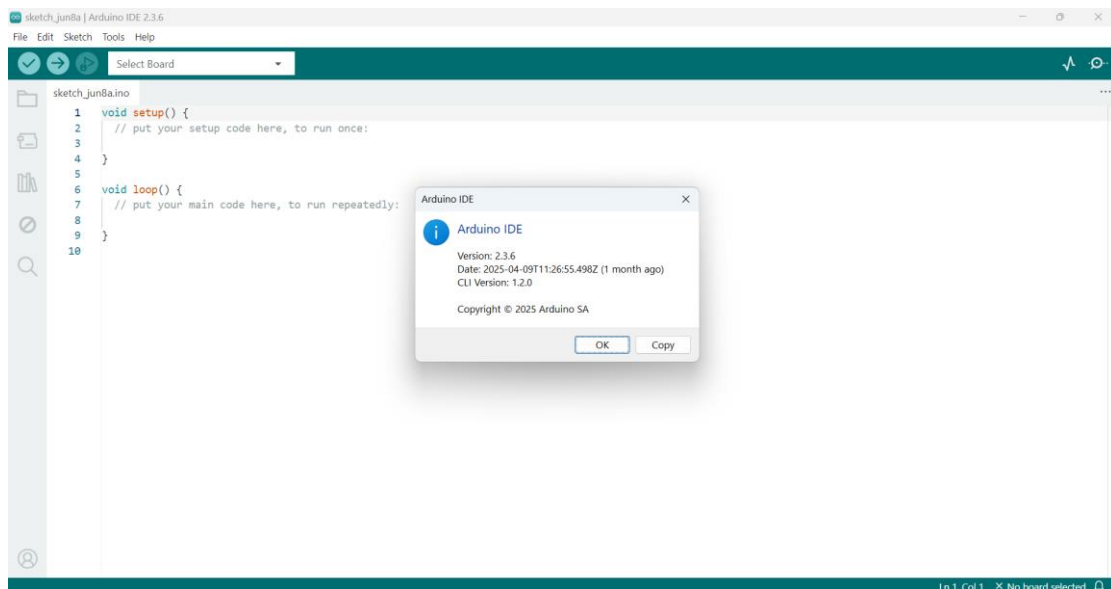
Software που χρησιμοποιήθηκε και ρυθμίσεις πριν τον προγραμματισμό:

- STM32CubeProgrammer στην έκδοση v2.8.0 [11]



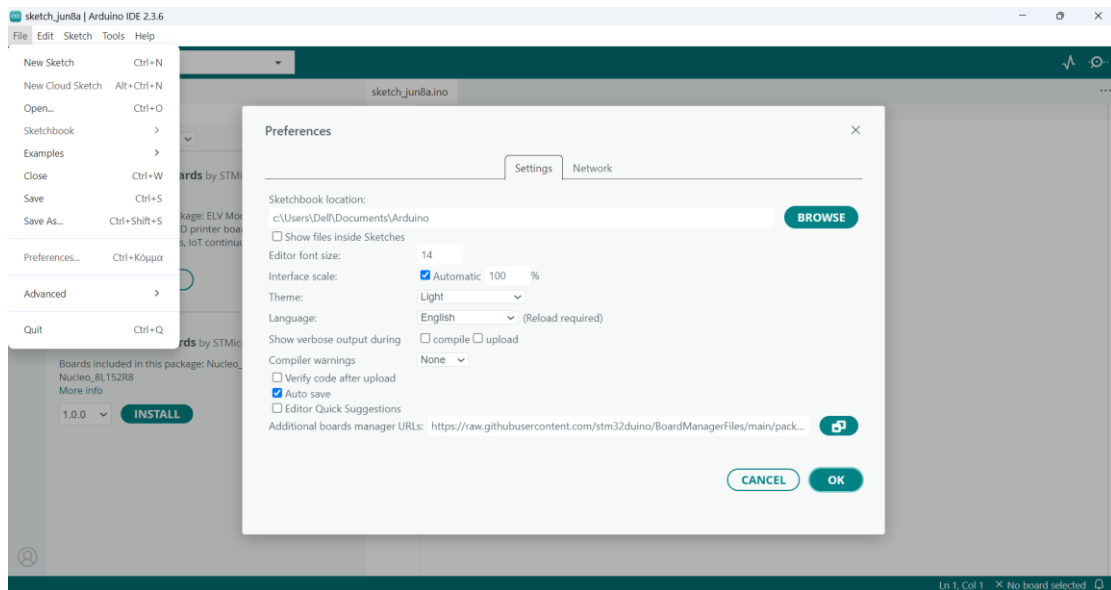
Σχήμα 4.56 - STM32Cube Programmer v2.8.0

- Arduino IDE version: 2.3.6 [12]



Σχήμα 4.57 - Arduino IDE version: 2.3.6

- Arduino IDE: Files → Preferences

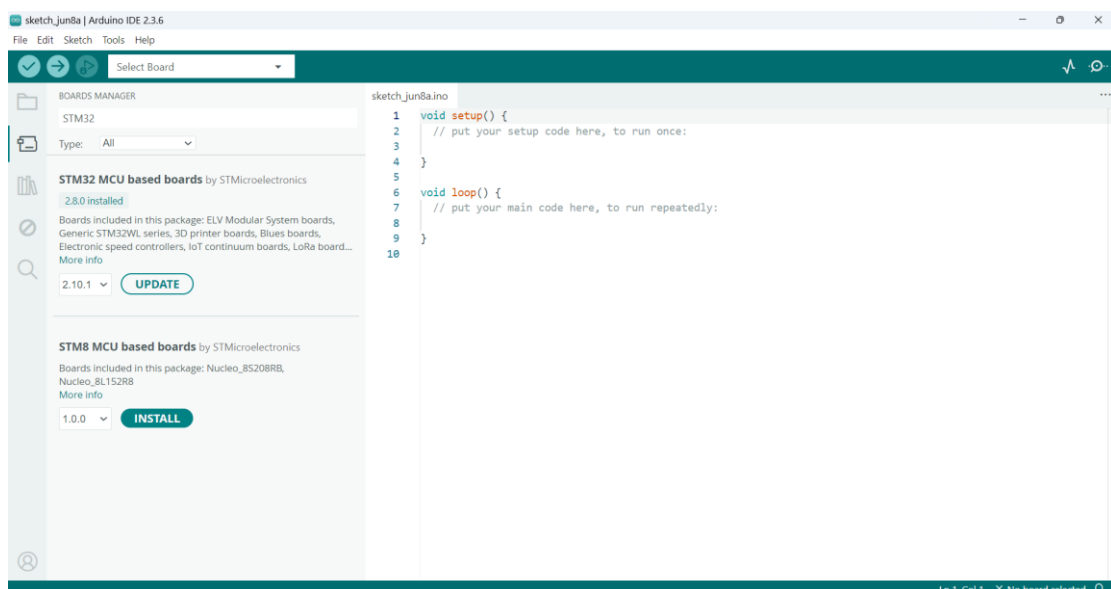


Σχήμα 4.58 - Arduino IDE Additional Boards Manager URLs

- Arduino IDE Additional Boards Manager URLs → Paste το παρακάτω URL:

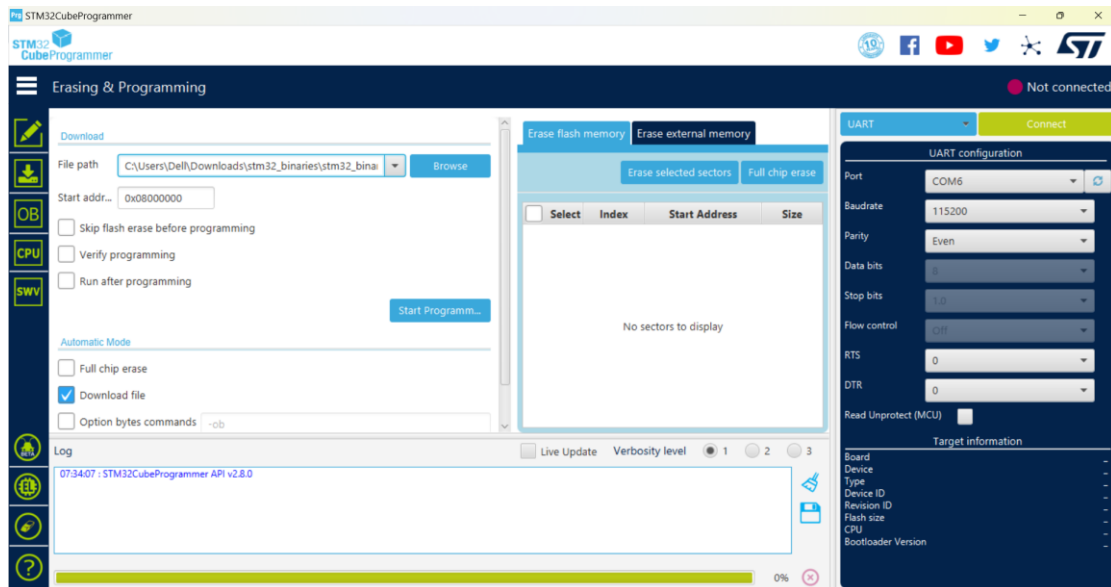
https://raw.githubusercontent.com/stm32duino/BoardManagerFiles/main/package_stm32microelectronics_index.json

- Tools → Board → Boards Manager → Αναζήτηση για STM32
- Install το Package **STM32 MCU based boards** by STMicroelectronics την version 2.8.0.



Σχήμα 4.59 - Arduino IDE Board Manager For STM32

- Στον παρακάτω σύνδεσμο, Download το αρχείο stm32_binaries.zip https://github.com/Serasidis/STM32_HID_Bootloader/releases [13]
- Extract το zip File
- STM32Cube Programmer → Erasing and Programming Button που βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της οθόνης η 2^η επιλογή:



Σχήμα 4.60 - STM32Cube Erase & Programming

- stm32_binaries\stm32_binaries\F103\low_and_medium_density\hid_generic_
-
- pc13.bin.

Μόλις ολοκληρωθεί, πριν αφαιρέσουμε την τροφοδοσία θα χρειαστεί να μετακινήσουμε το Jumper Boot0 ξανά στη θέση 0 και δεν χρειάζεται να μετακινηθεί ξανά, παραμένουν και τα δύο στη θέση 0.

Πλέον, το Bluepill αναγνωρίζεται από τα Windows σαν HID Bootloader 2.2 και δεν απαιτείται χρήση του UART για τον προγραμματισμό του αλλά μπορεί να γίνει απευθείας από την micro USB Port, μέσω του Arduino IDE επιλέγοντας:

- Tools → Board → STM32 MCU Based Boards → Generic STM32F1 Series
- Tools → Port → Τη θύρα που είναι συνδεδεμένος
- Tools → Board Part Number STM32F103C8
- Tools → U(S)ART Support → Enabled (Generic ‘Serial’)
- Tools → USB Support Tools → CDC (Generic ‘Serial’ Supersede U(S)ART
- Tools → Upload Method ‘HID Bootloader 2.2’

5 Πηγές

- [1] "Altium Designer," Altium, [Online]. Available: <https://www.altium.com/altium-designer>. [Accessed 27 Απρίλιος 2025].
- [2] "jlcpcb," [Online]. Available: <https://jlcpcb.com/>.
- [3] "pcbway," [Online]. Available: <https://www.pcbway.com/>.
- [4] "allpcb," [Online]. Available: <https://www.allpcb.com/>.
- [5] "irepairtools," [Online]. Available: <https://irepairtools.ir/product/%d9%86%d9%88%da%a9-%d9%87%d9%88%db%8c%d9%87-%d8%b3%d8%b1%d8%aa%d8%a8%d8%b1%db%8c-2uul-c210-k/>.
- [6] "www.st.com," [Online]. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>.
- [7] "oshwlab," [Online]. Available: <https://oshwlab.com/r3bers/STM32F103C8T6-Test-Board>.
- [8] "stm32-base.org," [Online]. Available: <https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill>.
- [9] "grobotronics.com," [Online]. Available: <https://grobotronics.com/waveshare-pl2303-usb-uart-board-type-c.html>.
- [10] "www.banggood.com," [Online]. Available: https://www.banggood.com/Industry-3_5X-90X-Simul-focal-Trinocular-Stereo-Microscope-p-1477322.html?rmmds=myorder&cur_warehouse=CZ.
- [11] "www.st.com," [Online]. Available: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeprog.html#get-software>.
- [12] "www.arduino.cc," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software/>.
- [13] "github.com," [Online]. Available: https://github.com/Serasidis/STM32_HID_Bootloader/releases.