

진동모터용 PCB 정류자의 내구성 향상을 위한 신 합금도금 (Au-Cu) 개발

Development of New Electroplating Alloy (Au-Cu) for Increasing the Durability of PCB Commutator in Vibration Motor

김영태¹, 이성재², 박성준^{3,✉}

Young-Tae Kim¹, Sung-Jae Lee² and Sung-Jun Park^{3,✉}

¹ 삼성전기 MD 사업팀 MD 개발 1G (MD Division, Samsung Electro-Mechanics Co.)

² 삼성전기 중앙연구소 분석 G (Central R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics Co.)

³ 충주대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chungju National Univ.)

✉ Corresponding author: park@cjnu.ac.kr, Tel: 043-841-5130

Manuscript received: 2008.7.1 / Revised: 2009.1.2 / Accepted: 2009.3.24

Mobile phone is a representative personal communication tool among wireless communication devices. Recently, with the miniaturization and light-weight trend of mobile phone, the vibration motor has been replaced by coin type. The required performances of coin type vibration motor needed by user are long life, higher vibration, and thin thickness. Also the most important factor determines the performance of vibration motor is long-term reliability, which is mainly related to PCB plating technique for commutator. In this study, three types of fault were categorized to analyze the cause for malfunction of vibration motor. And, hardness and surface morphology on plating surface are also investigated to optimize the plating method and plating conditions. As a result, new plating method and conditions were proposed to increase the durability of PCB commutator.

Key Words: Commutator (정류자), Printed Circuit Board (PCB: 인쇄 회로 기판), Vibration Motor (진동모터), Electroplating (전기 도금)

1. 서론

급속한 정보 통신 산업의 발전과 함께 개인 무선 통신기기의 사용은 이미 보편화, 대중화가 이루어졌다. 이 중에서도 휴대폰은 대표적인 개인 무선 통신 기기로 자리를 잡았다. 휴대폰에서 전화 착신을 알리는 방법은 크게 두 가지가 있다. 알람 램프와 벨을 통하여 사용자에게 시청각적인 방법으로 착신을 인지시키거나 진동을 이용하여 촉각을 통해 인지시키는 방법이 있다. 진동 발생은 휴대폰 세트에 장착되어 있는 무게 편심형 모터의

기계적인 회전운동을 통해 발생되며, 그 형태에 따라 바 타입과 코인 타입 두 가지로 나뉘게 된다. 이동 통신 단말기의 소형화와 경량화에 따라 공간 활용도가 높은 코인형으로 대체되고 있는 추세이다.¹ 코인형 진동모터에 있어서 핵심 기술은 소형화, 고진동화, 장수명이라고 말할 수 있다. 현재 코인 진동 모터의 경우 휴대폰의 진화와 함께 장수명에 대한 요구가 높아지고 있다.² 코인형 진동 모터의 장수명 요구를 만족시키기 위해서는 진동 모터 내부에서 회전하는 회전자(Rotor) PCB 도금면의 경도가 매우 중요하며 또한 브러쉬와 접촉면

사이의 접촉 각도, 브러쉬 장력, 표면거칠기 등이 변수이다. 현재까지 진동 모터 수명 향상을 위한 연구는 구체적으로 발표된 사례가 없다. 일반적으로 진동 모터에 대한 연구는 부품의 소형화와 사용자의 다양한 욕구를 만족시킬 기능을 추가하는 내용에 대한 것이다. 아직까지 휴대폰 착신 진동 장치에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 코인형 진동모터이며 고신뢰성의 진동모터 개발을 위해서는 정류자용 PCB 도금 기술의 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 PCB 도금 기술 확보를 위하여 도금액 및 전류 조건에 따른 정류자 표면의 형태(morphology)를 최적화 하였으며, 이를 바탕으로 현재 사용하고 있는 기존 합금 도금보다 내구성이 뛰어난 Au-Cu 신 합금도금을 개발하여 신뢰성 수명이 기존 대비 2 배를 초과하는 제품 개발에 성공하였다.

2. 코인 진동 모터

2.1 이론적 배경

2.1.1 진동 모터 구동 메커니즘

코인형 진동 모터의 개략적인 기구 단면도를 Fig. 1 에 나타내었다. 코인형 진동모터는 크게 편심 회전 운동을 하는 회전자(rotor), 브러쉬와 마그네트로 구성되어 있는 고정자(stator)로 나눌 수 있다. 회전자는 코일과 분동, 그리고 PCB 를 접촉한 상태에서 사출성형 방식을 통해 제작 되며 고정자는 브라켓 위에 브러쉬와 자석을 부착하여 제작한다.

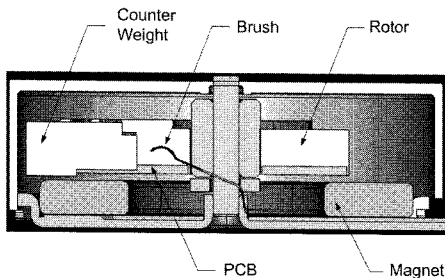


Fig. 1 The intersection drawing of coin type vibration motor

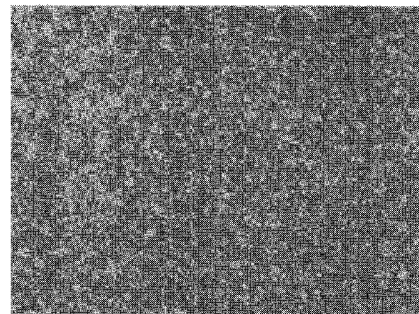
코인 진동모터의 진동 원리는 정류자에 고정되어 있는 텅스텐 분동에 DC 전압을 가하게 되면 편심 회전을 시작하게 되고 10,000rpm 이상의 고속 회전에 의하여 기계적인 진동을 발생하게 된다.

2.1.2 PCB 도금

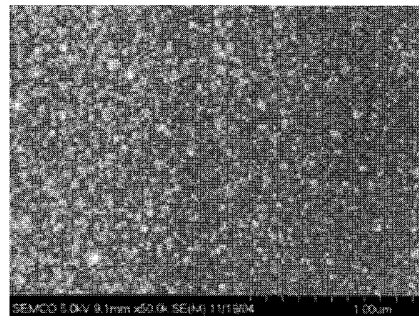
코인형 진동모터에 있어서 가장 핵심적인 기술은 소형화, 고진동화, 그리고 장수명이다. 이 중에서도 장수명은 휴대폰 업체에서 요구되고 있는 가장 기본적이면서도 중요한 요소이다.

코인형 진동 모터에 있어서 수명은 전기적 특성, 브러쉬와 PCB 의 재료, 접촉 자세, 브러쉬 텐션, 자력 등 여러 인자와 관련이 있다. 이 중에서도 브러쉬와 PCB 정류자의 재료 및 특성은 가장 큰 인자라 할 수 있다. 일반적으로 진동모터에 들어가는 PCB 정류자면의 도금은 전해 도금을 하고 있으며 Cu 기판 위에 Ni 층을 도금하고 그 위에 Au-Co 를 도금한다.

PCB 정류자면의 Ni 층 및 Au-Co 층의 SEM 사진은 Fig. 2 에 나타내었다. 도금 표면의 형태에 따라서 내마모성 및 경도 특성이 달라지게 된다.



(a) Ni plated layer



(b) Au-Co plated layer

Fig. 2 SEM image of plated layer

일반적으로 순금 도금은 연신율은 높지만 경도가 낮기 때문에 금에 코발트를 첨가하는 Au-Co 도금을 통하여 PCB 금도금면의 경도를 향상시킬 수 있다.³

현재 대부분의 진동모터 PCB 의 경우 Au-Co 도금을 일반적으로 사용하고 있다.

2.2 진동 모터의 불량 유형

진동모터 수명실험에서 일반적으로 발생하는 불량유형을 당사에서는 크게 무통전(open), 구속(locking), 그리고 쇼트(short) 현상과 같이 세가지로 분류하여 구분하고 있으며, 각 불량 유형에 대한 정의와 원인은 다음과 같다.

2.2.1 Open 현상

무통전 현상은 브러쉬와 정류자 도금면 사이에 전기적 절연이 발생하여 모터가 작동하지 않는 현상이다. 일반적으로 브러쉬는 백금족 원소를 점점 부위에 사용하며 백금족 원소와 정류자면의 금 재료가 마찰운동을 하면서 카본이나 유기물의 탄화물들이 발생하게 된다. 이러한 유기물들은 브러쉬와 정류자면의 접촉을 방해하게 되고 시간이 경과하면서 전기가 통할 수 없는 절연막이 되어 무통전에 의한 무회전 현상을 야기하게 된다. Fig. 3 은 브러쉬가 회전하면서 정류자 도금면 위에 생긴 트랙면을 SEM 측정된 사진이다. 도금면 위에 유기물 절연층이 생기므로 무통전 현상이 발생한 전형적인 예를 보여주고 있다. 이러한 브러쉬 모터에 있어서 이와 같은 블랙 파우더 및 탄화물의 발생 현상을 지연시키거나 제거시키지 않으면 장수명을 얻을 수 없게 된다.



Fig. 3 The SEM image of track on which brush rotates

2.2.2 Locking 현상

무통전 현상과 더불어 모터가 On/Off 단속 수명 실험 중에 전류 부하가 증가하면서 갑자기 회전을 하지 않는 현상이 발생한다. Locking 현상의 발생 원인으로는 브러쉬와 정류자 재료 간에 용융 및 용착이 발생하여 순간적으로 토크가 재료 용착력을 이기지 못하여 작동하지 않는 경우와 샤프트

와 베어링 부의 마찰이 증대하여 회전 토크가 이를 이기지 못하는 경우이다.

무통전 현상이나 2.2.3 절에서 설명할 쇼트 현상에 비해 구속 현상은 그 빈도수가 작은 편에 속한다.

2.2.3 Short 현상

진동모터 단속 수명 실험에 있어서 가장 빈번한 불량 발생현상은 쇼트이다. 모터의 쇼트 현상은 주로 두가지 경우에 의해 발생하게 된다. 첫째, 정류자 세그먼트 사이에 브러쉬의 각도가 설계각도보다 너무 작거나 큰 경우에 발생하는 기구적 원인에 의한 쇼트가 있으며 다른 하나는 도금면에서 마모된 입자가 세그먼트 극간에 쌓여 세그먼트 사이의 쇼트를 유발하는 경우이다. Fig. 4는 세그먼트 사이에 금 마모 입자가 쌓여 쇼트 현상이 발생한 사례를 보여 주고 있다. 쇼트가 발생하면 순간적으로 고 전류가 흘러 휴대폰 세트 회로에 손상을 줄 수 있으므로 쇼트 현상은 반드시 제거되어야 한다. 코인 진동모터의 장수명 신뢰성을 확보하기 위해서는 목표 시간 동안에 위의 세 가지 불량 유형이 발생하지 않는 최적의 조합을 찾아내야 한다.

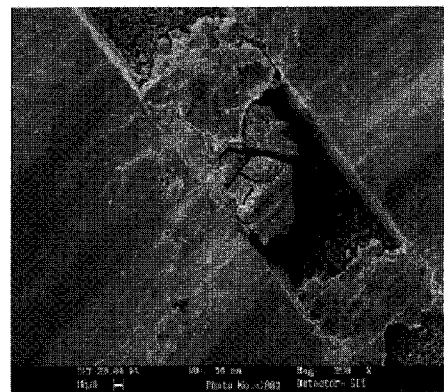


Fig. 4 The SEM image of short between the segments

2.3 단속 수명

진동 모터의 신뢰성 중에서 가장 많이 행해지는 방법은 정전압 또는 PWM 구동으로 정해진 시간 동안 On/off 사이클을 반복하는 단속 수명이다. 일반적으로 2 초 on/ 1 초 off 사이클을 반복하여 단속 수명을 걸며 사용자에게 따라 사이클 및 on/off 시간은 바뀌게 된다. 본 논문에서 말하는 수명 실험은 2 초 on/1 초 off 실험을 이야기한다.

3. 실험 방법 및 결과

3.1 실험방법

진동모터의 신뢰성 수명을 향상시키기 위하여 니켈 도금과 전류 도금의 용액의 비율을 최적화 하였다. PCB 도금 표면의 형태를 최적화 하기 위하여 Table 1 과 같이 전류조건을 변화시켜 가면서 PCB 도금의 SEM 분석 및 경도, 모터 신뢰성 수명 평가를 실시하였다.

내마모성 실험의 경우 실제 모터 구동 환경을 재현하기 힘들기 때문에 가속 조건에서 행하여 상대 비교를 하였다.

3.2 정류자 면 도금 최적화

진동모터의 수명을 향상시키기 위해서는 가장 먼저 정류자의 도금면에 대한 개선이 필요하다. 일반적으로 무통전, 구속, 그리고 쇼트 현상은 대부분 브러쉬가 정류자면을 따라 이송을 시작하면서 발생하는 도금면의 마모에 의해 발현하게 된다. 수명을 길게 하기 위해서는 기본적으로 브러쉬 정류자 접촉 상태에서 마모를 줄이는 메커니즘이 필요하다. 그러한 일환으로 PCB 도금면의 경도를 올리는 금도금 조건을 찾아야 한다. 본 실험을 위해 먼저 도금액의 성분을 최적화 한 후 전류 조건을 변화시켜 가며 최적의 도금 조직 및 경도를 갖는 전류조건을 선정하였다. Fig. 5 는 전류 밀도에 따른 Ni 도금층의 표면 사진을 보여주고 있다. 전류 밀도에 따라 표면 결정립 조직이 변화하고 있음을 볼 수 있다. 일반적으로는 전류밀도가 증가할수록 결정립 크기가 커지며 도금 두께 성장 속도가 빨라지게 된다. 경도 및 내마모성의 향상은 니켈 도금층의 표면 형태에 따라 많이 좌우되며 실험을 통해 니켈 층이 최적의 Morphology 를 갖는 전류 밀도 $6A/dm^2$ 을 최종적으로 확정하였다.

니켈층의 전류밀도에 따른 조직 변화와 마찬가지로 금도금층도 전류밀도에 따라 결정립 크기 및 조직 등이 변하게 된다. 현재 전기금도금에서 도금층 표면까지 기공이 발생하는 경우가 있는데 이는 모터 수명에 나쁜 영향을 주므로 반드시 기공이 생기지 않도록 해야 한다. Fig. 6 은 전류밀도를 0.5A 에서부터 2.0A 까지 단계적으로 변화시켜 가면서 도금되는 금도금층의 표면을 보여주고 있다. 낮은 전류에서는 큰 입자들이 보이다가 점점 전류 밀도가 높아짐에 따라 균일한 크기를 가지면서 조직이 치밀해짐을 볼 수 있다. 이 실험을 통해 금

도금 전류 조건을 $1.8A/dm^2$ 으로 최종 확정하였다. 뿐만 아니라 니켈, 금도금 층의 경도를 향상시키기 위하여 Dry oven 에서 열처리 공정을 추가하였다. 온도별 실험을 통하여 최적 조건인 $100^{\circ}C$ 에서 30 분간 열처리를 실시한다. 이를 통하여 금도금면의 내마모성을 좀더 향상시킬 수 있었다.

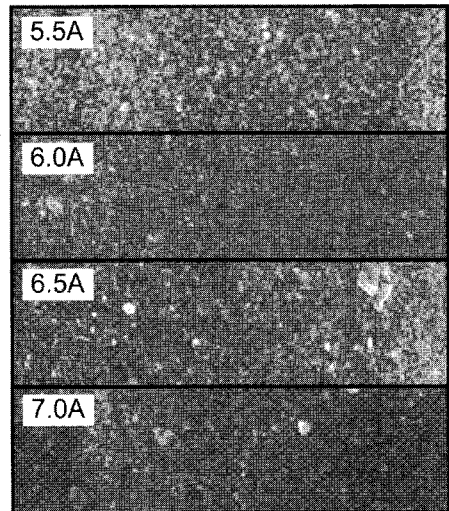


Fig. 5 SEM image Ni plating with various current densities (x50000)

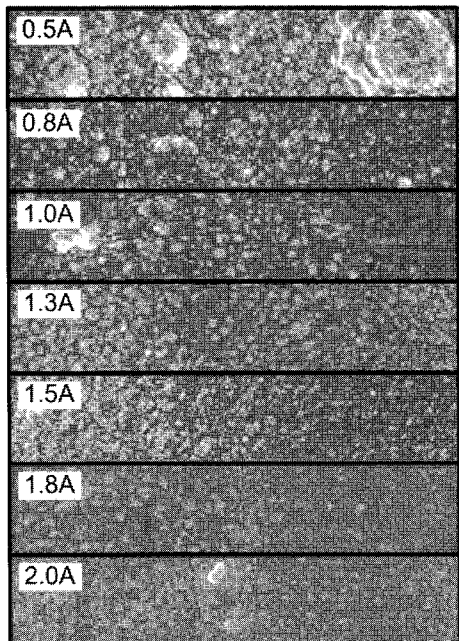


Fig. 6 SEM image Au plating with various current densities (x50000)

Fig. 7 은 당사 기존 양산품과 경쟁사, 그리고 개선품을 나노인덴터(nano indenter)를 이용하여 동일한 조건에서 경도를 측정한 결과를 보여주고 있다. 도금 최적화를 통하여 정류자면의 경도가 기존 양산품 대비 약 17% 향상되었다.

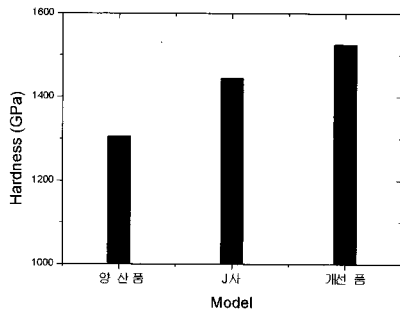


Fig. 7 Hardness measured by nano indenter

3.3 Au-Cu 신 합금도금 개발

정류자면 도금 조건을 최적화 하였음에도 불구하고 진동모터 수명이 있어서 사용자가 요구하는 신뢰성 수명을 만족하기에는 어려움이 있다. 왜냐하면 Au-Co 도금은 공식 도금으로 로터가 회전하기 시작하면서 마모가 발생하게 되고 코발트 첨가 도금층은 마모가 쉽게 되어 쇼트 현상이 발생하기 때문이다. 이러한 이유로 인하여 내마모성이 향상됨과 동시에 쇼트 현상을 지연시켜 진동모터의 수명을 길게 할 수 있는 신 합금도금을 개발하게 되었다. 개발 초기에는 Au-Pd, Au-Ag 도금 방법을 시도하였으나, Au-Cu 도금 방법이 완전고용체를 이루고 결정립 크기가 상대적으로 가장 작다는 것을 기초 실험을 통해 확인하고 Au-Cu 도금방법을 개발하였다.

3.3.1 Au-Cu 전해 도금

전해조 안에 시안화칼륨[KAu(CN)₂], 시안화구리칼륨[K₂Cu(CN)₃], 메이크 업 성분 및 첨가제를 넣고 도금액을 혼합한다. pH 8 내지 9로 맞추며 피도금체를 넣고 통전 하면 도금체의 도금하고자 하는 부위에 Au-Cu 합금이 도금되게 된다. 일반적으로 첨가제로는 은, 아연, 비스무스 등이 미량 사용된다. Au-Cu 합금 도금은 완전고용체를 이루는 합금이 가능하며 도금에 기공이 없는 고밀도의 합금을 형성하게 된다. Fig. 8 은 일반적인 Au-Cu 합금의 평형상태도를 보여주고 있다.³ 상태도에서 알 수 있듯이 Cu 의 함량에 따라서 결정 조직은 Au₃Cu,

AuCu, AuCu₃ 등으로 나뉘어지게 된다.

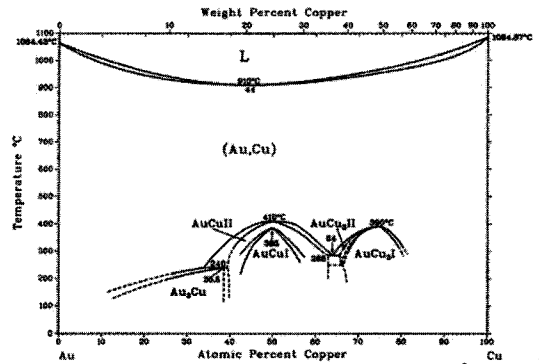


Fig. 8 The phase diagram of Au-Cu alloy³

본 합금도금에 의해서 생성되는 합금의 결정조직을 파악하기 위하여 XRD 분석을 행하였으며 분석 결과 면심입방결정 조직으로 Au-Cu 구조를 가지고 있다. Table 1 은 XRD 분석을 통하여 Peak 값의 원자 거리와 각도를 구한 값을 보여주고 있다. Au-Cu 결정조직의 참조값과 주요 Peak 값을 비교하여 본 결과 AuCu₃ 혹은 Au₃Cu 결정 조직과는 다르며 Au-Cu 결정 조직과 거의 일치하였다. 이상의 결과를 바탕으로 현재 개발된 도금은 Au-Cu 조직의 합금 도금을 이룸을 알 수 있다. Au 와 Cu 가 전류 조건에 따라서 표면에 도금이 될 때 Au 와 Cu 원자가 완전 고용체를 형성하게 된다.⁴ 이로 인해 원자간 결합이 견고하게 되며 조직이 치밀해져서 경도가 올라가게 된다고 생각한다

Table 1 Peak list data measured by XRD

No	h	k	l	d[Å]	2theta(°)	I(%)
1	0	0	1	3.6700	24.232	28
2	1	1	0	2.8000	31.937	24
3	1	1	1	2.2260	40.491	100
4	2	0	0	1.9800	45.790	32
5	0	0	2	1.8350	49.642	12
6	2	0	1	1.7426	52.468	9
7	1	1	2	1.5348	60.250	5
8	2	2	0	1.4001	66.758	7
9	2	0	2	1.3459	69.826	12
10	2	2	1	1.3081	72.154	3
11	3	1	0	1.2523	75.920	2
12	3	1	1	1.1852	81.073	13

XRD 분석을 통하여 개발된 도금층이 Au-Cu Tetragonal 구조를 이룸을 알 수 있다. 내부 조직의 형상이나 결정립 구조를 살펴보기 위하여 TEM 분석을 실시하였다. Fig. 9의 TEM 결과에서 볼 수 있듯이 polycrystal 이지만 결정립 경계가 명확하지 않으며, 제한시야회절(SAD) 분석결과 결정내부에 잔류응력이 작게 존재하는 것으로 나타났다.⁵

3.3.2 Au-Cu 및 Au-Co 전해 도금 비교

Fig. 9는 전해도금된 Au-Co와 Au-Cu 합금의 결정조직을 보여주고 있다. Au-Co는 결정립 경계가 명확하게 보이지만 Au-Cu는 보이지 않는다. Au-Co는 공식도금을 이루지만 Au-Cu는 원자간에 완전 고용체를 이루면서 조직이 치밀해지므로 생기는 현상이라 추정된다. 결정립 사이가 클수록 입자간 결합력이 약해지게 되어 마모가 빨리 진행되는 것으로 생각된다.

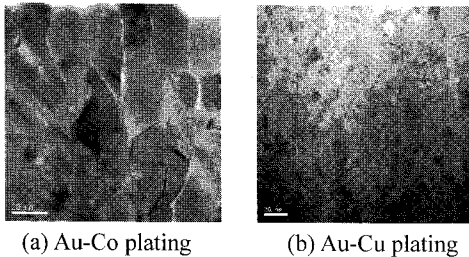
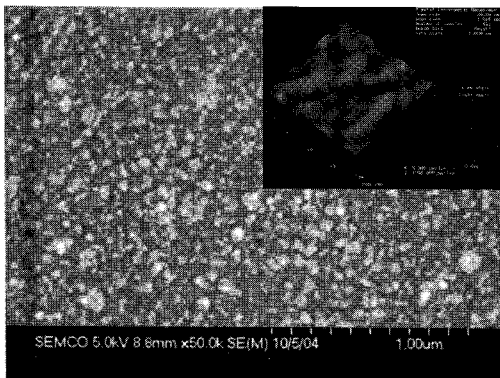
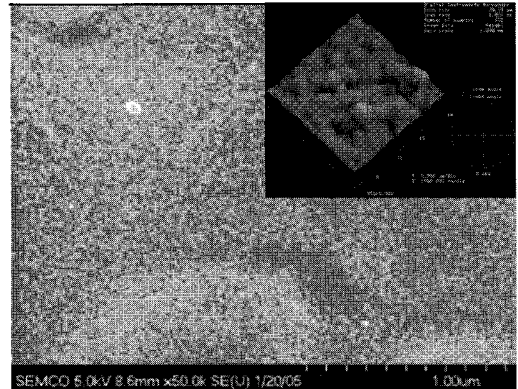


Fig. 9 TEM image of plating section layer

Fig. 10은 Au-Co와 Au-Cu 합금의 표면 형태를 보여주고 있다. 표면에 석출된 결정립 크기가 Au-Co가 Au-Cu 도금에 비해서 상대적으로 크다. 결정립 크기가 클수록 입자간 결합력이 약해지게 되어 마모가 빨리 진행되는 것으로 생각된다.



(a) Au-Co plating



(b) Au-Cu plating

Fig. 10 SEM and AFM images of plating layer

3.3.3 Au-Cu 도금 최적화

앞에서 일반 Au-Co 도금과 Au-Cu 도금의 특징들을 비교하여 보았다. 개발된 합금도금을 적용하기 위해서는 Au-Co 도금에서와 같이 표면 및 전류밀도 최적화 작업이 필요하다. 실험을 통하여 전류밀도 별 조성비 및 경도 변화, 그리고 단속수명 실험을 통하여서 가장 최적화된 도금 조건을 선정하였다. Fig. 11은 전류밀도 변화에 따른 도금층의 Cu 함량 변화와 경도변화를 보여주고 있다. 경도 측정은 비커스 경도계를 이용하여 10gf 하중 하에서 5 초 load time 조건에서 측정을 진행하였다. 측정 값은 10 번 반복하여 평균값을 취하였다. 전류밀도가 증가할수록 도금층의 Cu 함량 및 경도가 증가하는 경향성을 보여주고 있다. 그러나 1.0A에서 1.3A 구간에서는 일정한 값을 유지하는 것을 볼 수 있으며 작업관리상 전류밀도는 1.2A가 좋을 수 있다. 신뢰성 수명실험 결과에서도 1.0A에서 1.4A까지 동일한 결과를 보여주었다.

최적화된 전류밀도로 도금한 PCB의 내마모성 실험을 수행하였으며, 앞에서 설명한 대로 Au-Co에 비해 Au-Cu 표면의 결정립 크기가 작기 때문에 결합력이 우수하며 이로 인해 내마모성이 우수하리라 예측되었다. 실제 실험 결과, 조직 및 표면 형태에서 예측한 것과 같이 동일한 결과를 얻을 수 있었다. Au-Cu 도금면이 기존의 Au-Co 도금면보다 내마모성이 매우 우수하며 이를 진동모터에 적용할 경우에 브러쉬 접촉면의 마모 지연에 따라 수명개선 효과를 볼 수 있게 되었다. 실험은 간이 내마모 실험기를 이용하여 행하였으며 실험조건은 하중 450g, 편직경 45mm, 속도 90mm/s이다.

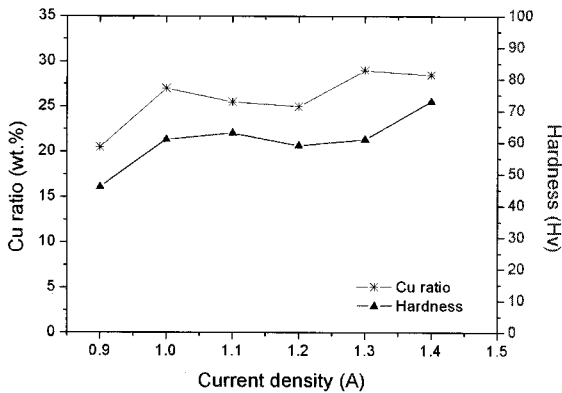


Fig. 11 Cu wt. % and hardness according to current density

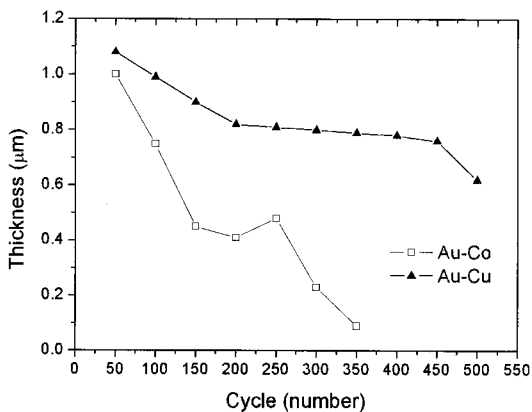
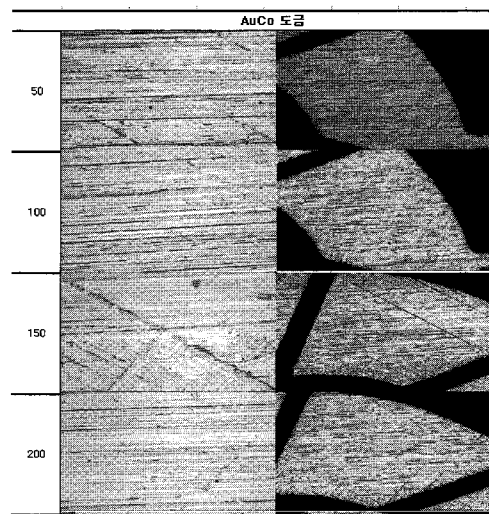


Fig. 12 Wear test result of Au-Co and Au-Cu alloy plating

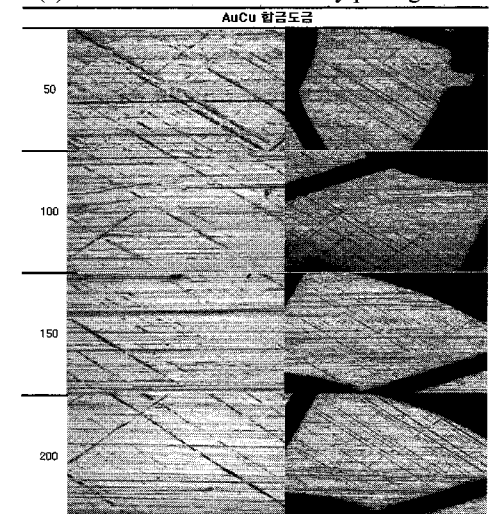
내마모 테스트 결과를 나타낸 Fig. 12 에서 볼 수 있는 것처럼 Au-Co 도금의 경우에는 초기에 마모가 진행되면서 접촉면에 마멸된 금속 입자들이 많이 형성되고 이 입자들이 연마 작용을 촉진하여 마모가 급속도로 진전되게 된다.

Au-Cu 합금도금의 경우 초기 마모가 느리므로 입자 발생이 적어서 마모량이 상대적으로 적었다. Fig. 13 은 내마모 실험에서 핀의 왕복횟수에 따른 표면의 마모된 형상을 보여주고 있다.

진동모터 PCB 에서 마모를 지연시키고 브러쉬와의 접촉상태를 좋게 하기 위하여 정면작업을 통하여 십자형상의 패턴을 정류자 면에 만들어 준다. Au-Co 도금에서는 50 회 이상에서 이 형상이 거의 마모되어 보이지 않으나 Au-Cu 도금의 경우 마모가 더디게 진행되므로 스크래치 패턴이 선명하게 보이고 있다.



(a) Worn surface of Au-Cu alloy plating



(b) Worn surface of Au-Co alloy plating

Fig. 13 Worn surface of Au-Co and Au-Cu alloy plating

4. 결론

본 논문에서는 휴대폰 전화 알람 도구로 일반적으로 사용되고 있는 코인형 진동모터의 단속수명에서 발생하는 불량유형을 정의하고 수명 향상을 위한 방법을 제시하였다. 무통전과 쇼트의 경우 대부분 브러쉬와 접촉하고 있는 정류자 면의 마멸과 함께 발생하는 금속 입자나 스파크에 의한 유기물의 탄화에 의해서 발생한다. 이번 실험에서는 특히 문제가 되는 쇼트 문제를 해결하기 위해

여 도금면의 마모 현상을 지연시킴으로써 수명을 향상시킬 수 있는 방법으로 도금 표면 조직을 최적화하는 방법과 새로운 합금도금 개발에 대해 제시하였다. 일반적으로 Au-Co 도금의 경우에 니켈층을 하지 도금하고 그 위에 금도금을 한다. 니켈층의 역할은 기저면에 있는 Cu 가 금도금층으로 확산되어 부식이 발생하는 것을 방지하는 역할이다. 반면에 본 연구에서 개발된 Au-Cu 합금도금을 할 경우에 금속간 완전 고용체를 이루기 때문에 Cu 가 금도금층으로 확산이 되지 않으며 염수 분무 시험에서 좋은 결과를 얻을 수 있다. 본 연구를 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 전류밀도에 따른 니켈 및 금도금 표면 형태를 분석하여 내마모성이 우수한 최적 전류밀도 조건을 선정하고 Au-Co 도금액 조성을 최적화하여 단속수명을 향상시켰다.

(2) 사용자가 원하는 이상의 신뢰성 단속수명을 얻기 위하여 기존의 Au-Co 도금을 대체할 수 있는 Au-Cu 신 합금 도금 방법을 개발하였다.

(3) Au-Cu 합금도금을 Au-Co 합금도금과 비교 분석하여 Au-Cu 합금도금이 완전고용체를 이루면서 내마모성이 향상된 최적화된 합금 도금임을 검증하였으며 이를 진동모터에 적용하여 신뢰성 시험에서 목표 이상의 단속수명을 달성하였다.

참고문헌

1. Shin, T. M. and Ahn, J. C., "Study on the Development of Integrated Vibration and Sound Generator," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 11, pp. 875-881, 2003.
2. Techworld, "Miniaturization Trend for a Vibration Motor used in Personal Communication Devices," EP&C, pp. 69-73, 2003.
3. Aotani, K., "Alloy Plating I," Sin Press, 2001.
4. Sra, A. K. and Schaak, R. E., "Synthesis of Atomically Ordered AuCu and AuCu₃ Nanocrystals from Bimetallic Nanoparticle Precursors," Journal of American Chemistry Society, Vol. 126, No. 21, pp. 6667-6672, 2004.
5. Baek, C. W. and Ahn, Y. M., "Residual Stress Measurement of Micro Gold Electroplated Structure," Journal of the KSPE, Vol. 17, No. 12, pp. 195-200, 2000.