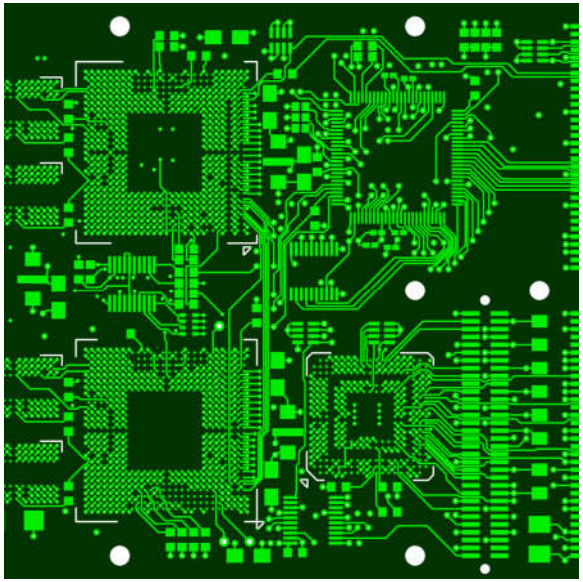
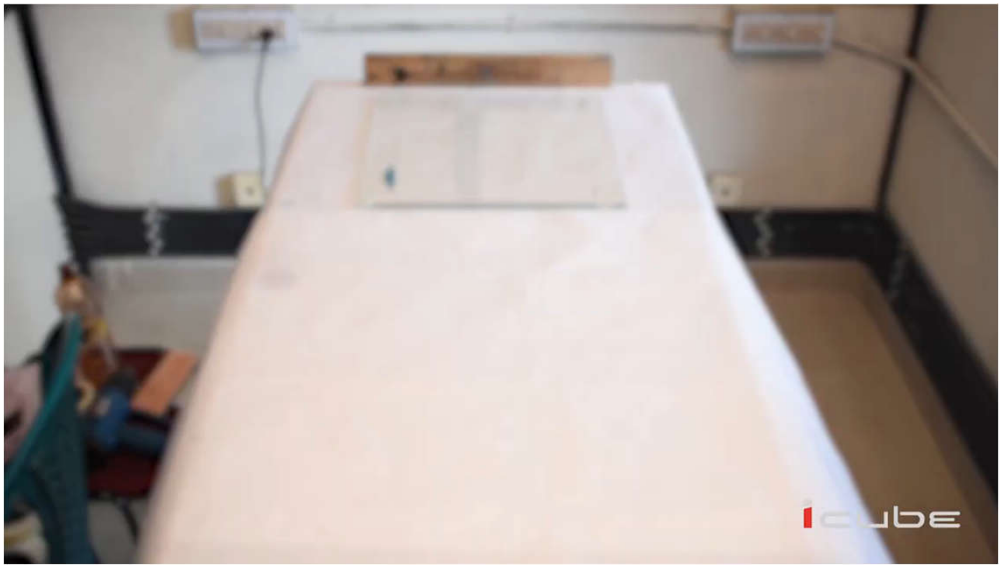
دانشگاه صنعتی اصفهان
بازیافت مواد
جلسه یازدهم
بازیابی منابع از ضایعات الکترونیکی
46 Pd Palladium 106.42
78 Pt Platinum 195.084
45 Rh Rhodium 102.90550

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

- تخته مدارهای چاپی (Printed Circuit Boards, PCB) از صفحات مسی لمینت شده و صفحات فیبر شیشه (Fiber glass) تشکیل شده اند که دارای لحیم کاری سرب و قلع می باشند.



# بازیابی مس از مدارهای چاپی



- سالانه تعداد زیادی از این مدارهای چاپی دور ریخته می شوند.
- به دلیل وجود لحیم کاری بر روی این تخته ها، دارای فلزات سنگین بوده و در دسته باطله های خطرناک تقسیم بندی می شوند که در صورت حذف سرب، در دسته باطله های بی خطر قرار می گیرند.
- مدار های چاپی دارای تا ٪۴۵ مس می باشند.

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

## ❖روش ثقلی و فلوتاسیون

- پسماندهای الکترونیکی توسط سنگ شکن فکی خرد شده تا به اندازه زیر ۲۰ مش برسند.
- در صورتی که جنس باطله ها از سرامیک باشد، یک مرحله خردایش با استفاده از آسیای گلوله ای انجام خواهد شد.
- در مرحله بعد، پرعیارسازی با استفاده از میز لرزان باعث افزایش عیار مس به ۸۰ تا ۸۴ درصد می شود.
- لایه های مس را می توان بوسیله جداکننده های ثقلی یا با فلوتاسیون از لایه های فیبر جدا نمود.
- تا ۵۰ درصد از مس با استفاده از فلوتاسیون توسط کلکتور سدیم ایزوپروپیل زنتات قابل بازیابی است.

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

## ❖روش الکترولیچینگ

- این روش به منظور حذف لحیم ها از تخته ها جهت آسان شدن بازیابی مس انجام می شود.
- از سبدهای فولادی چرخان بعنوان آند و از صفحات فولادی بعنوان کاتد استفاده می شود.
- از سدیم هیدروکسید بعنوان الکترولیت استفاده می شود.
- تخته ها درون سبد آند قرار داده شده و سدیم هیدروکسید سرب و قلع را به سرعت در ولتاژ ۲ ولت بصورت انتخابی حل کرده و از مس جدا می کند.

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

- تخته ها سپس در دمای ۳۵۰-۳۲۵ درجه سانتیگراد، لمینت زدایی می شوند و لایه های مس و فیبر شیشه از هم جدا می شوند.
- در این مرحله، عنصر بروم تبخیر می شود که با اسکراب کرن گاز خروجی، قابل استحصال است.
- فیبر شیشه بازیافت شده را می توان در صنعت ساختمان بکار برد.

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

| Metal | Boiling Temperature | |
|---|---|---|
| | (°F) | (°C) |
| Aluminum | 4478 | 2470 |
| Antimony | 2625 | 1440 |
| Beryllium | 4487 | 2475 |
| Cadmium | 1413 | 767 |
| Chromium | 4838 | 2670 |
| Cobalt | 5297 | 2925 |
| Copper | 4667 | 2575 |
| Gold | 5072 | 2800 |
| Iron | 5198 | 2870 |
| Lead | 3182 | 1750 |
| Magnesium | 1994 | 1090 |
| Manganese | 3740 | 2060 |
| Mercury | 675 | 357 |
| Molybdenum | 8403 | 4651 |
| Nickel | 5072 | 2800 |
| Niobium | 8564 | 4740 |
| Platinum | 4098 | 3825 |
| Plutonium | 5846 | 3230 |
| Potassium | 1400 | 760 |
| Rhodium | 6692 | 3700 |
| Selenium | 1292 | 700 |
| Silicon | 5936 | 3280 |
| Silver | 4013 | 2212 |
| Sodium | 1623 | 884 |
| Tantalum | 9689 | 5365 |
| Thorium | 8672 | 4800 |
| Tin | 4712 | 2600 |
| Titanium | 5954 | 3290 |
| Tungsten | 10022 | 5550 |
| Uranium | 7484 | 4140 |
| Zinc | 1670 | 910 |

## ❖روش پیرومتالورژیکی

- نتیجه این فرایند، تولید آلیاژ قلع-نیکل-مس، مخلوط حاوی اکسید سرب و روی و همچنین، سرباره بدون فلز می باشد.
- در مرحله اول، تخته ها در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد سوزانده می شوند.
- سپس در دمای ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد ذوب می شوند.
- گازهای خروجی، حاوی بخارات سرب و روی است که در اسکرابر استحصال می شوند.

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

## ❖روش زیستی

- در این روش از باکتری های اکسید کننده آهن و گوگرد که از زهاب اسیدی معادن جداسازی و خالص سازی می شوند استفاده می شود.

- به دلیل ماهیت فلزی عناصر موجود در مدارهای چاپی و عدم وجود کانی های سولفیدی، جهت تولید اسید توسط باکتریها، گوگرد باید به محیط افزوده شود.

- در صورت کمبود آهن در تخته ها، اضافه کردن آهن هم باعث افزایش سرعت انحلال می شود.

- در روشی جدیدتر، از مخلوط مدارهای چاپی و باطله های حاوی پیریت به منظور تامین گوگرد و یون های آهن استفاده می شود.

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

## ❖روش هیدرومتالورژیکی

- در این شیوه، محلول لیچ از کوپریک سولفات، آمونیاک و آمونیوم سولفات تشکیل شده است.

- کمپلکس کوپریک آمونیوم تشکیل شده در محلول لیچ باعث اکسیداسیون مس فلزی شده و کمپلکس کوپروس آمونیوم را ایجاد می کند.

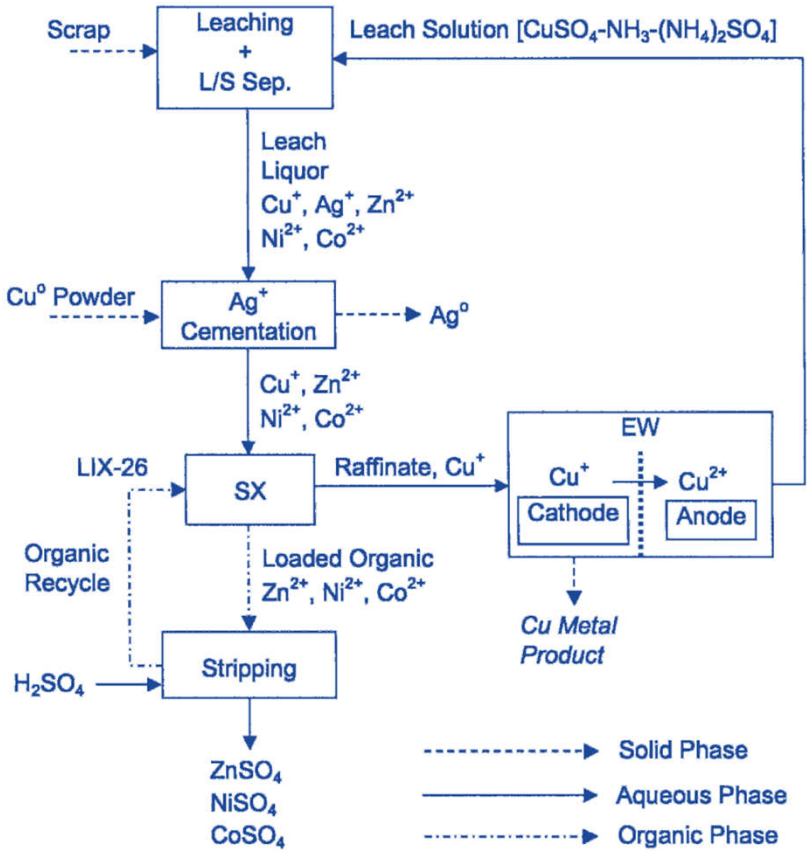
$$Cu^{o} + Cu(NH_3)_4^{2+} \rightarrow 2\ Cu(NH_3)_2^{+}$$

- مرحله بعدی، جداسازی جامد از مایع و سپس، استفاده از سمنتاسیون و استخراج حلالی به منظور جداسازی نقره، روی، نیکل و کبالت می باشد.

- در نهایت، با استفاده از الکتروویننگ، مس بر روی الکترود کاتد می نشیند.

# بازیابی مس از مدارهای چاپی

❖روش هیدرومتالورژیکی



# بازیابی مس از مدارهای چاپی

## ❖روش هیدرومتالورژیکی

- در این روش، آلومینیوم و آهن بصورت حل نشده باقی می مانند زیرا این دو فلز با آمونیاک کمپلکس نمی دهند.

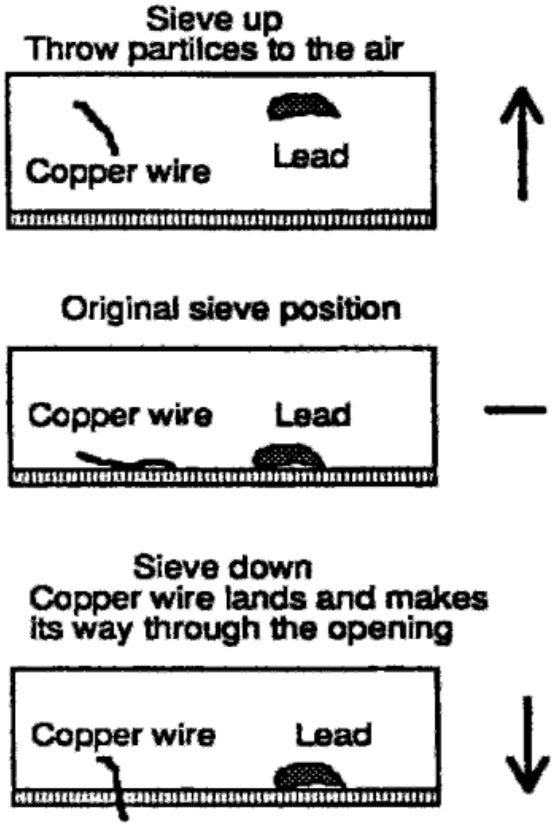
- سمنتاسیون نقره توسط مس، از طریق معادله شیمیایی زیر انجام می شود.

$$Ag(NH_3)_2^{+} + Cu^{o} \rightarrow Cu(NH_3)_2^{+} + Ago : \Delta G^{o}_{298} = -48.1\ kJ/mol$$

- استخراج روی، کبالت و نیکل توسط حلال آلی LIX26 با توجه به معادله زیر انجام می شود.

$$M(NH_3)_m^{n+} + n\ R\text{-}\overline{HQ} = \overline{M(RQ)_n} + n\ NH_4^{+} + (m-n)\ NH_3$$

# بازیابی مس از کابل ها




## ❖بازیابی با بهره گیری از شکل ذرات

- در بازیابی مس از کابل های مسی کاربرد دارد.
- به دلیل شکل کشیده ذرات سیم مسی، با استفاده از سرندکنی می توان آنها را از فلزات همراه جدا کرد.
- سرند با حرکت نوسانی رو به بالا و پایین، ذرات سیم را آنقدر در هوا می چرخاند تا مقطع کوچکتر آنها بر روی سطح سرند فرود آمده و از روزنه عبور کند.

# بازیابی مس از کابل ها

## ❖بازیابی با بهره گیری از شکل ذرات

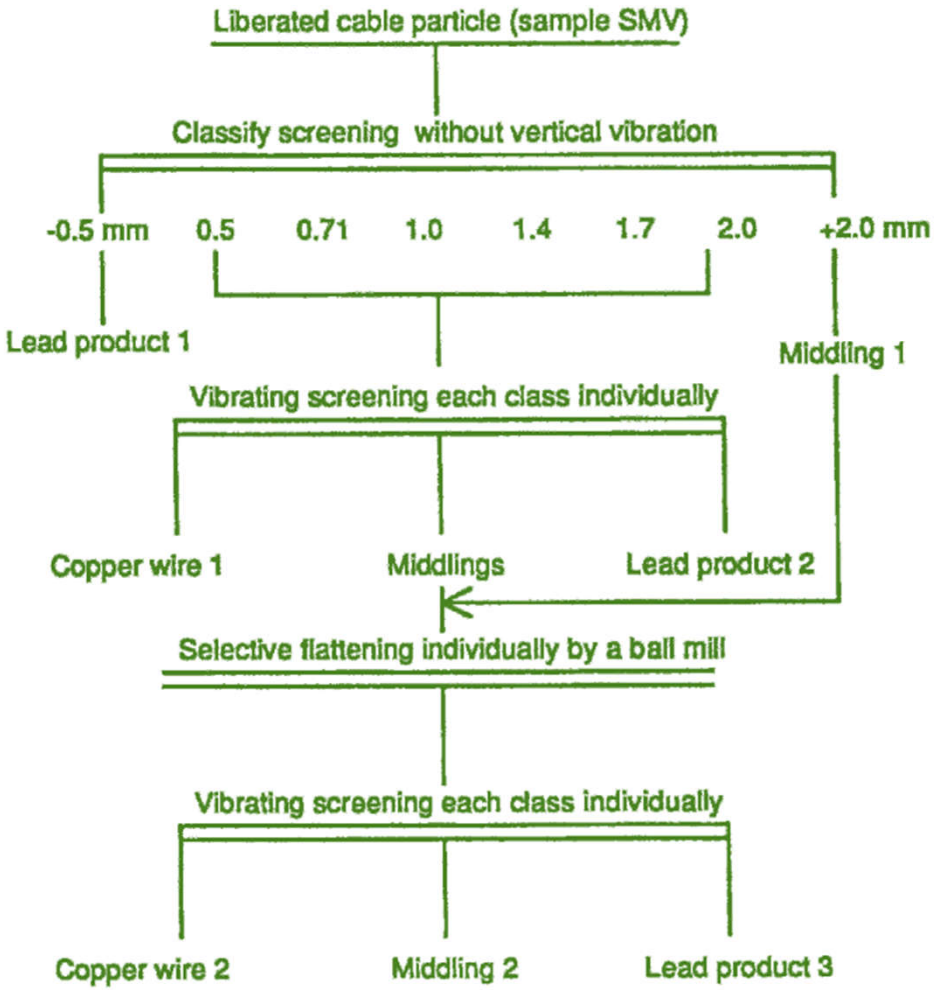
- یکی از مشکلات این روش، مسدود شدن روزنه سرند یا گیر کردن سیمهای U شکل در روزنه های سرند است که مدت زمان بیشتری برای خروج از سطح سرند احتیاج دارند.

- استفاده از سرندهای چرخان که بعد از مدتی سرندکنی، سرند را پشت و رو می کنند، یکی از راه حل هاست.

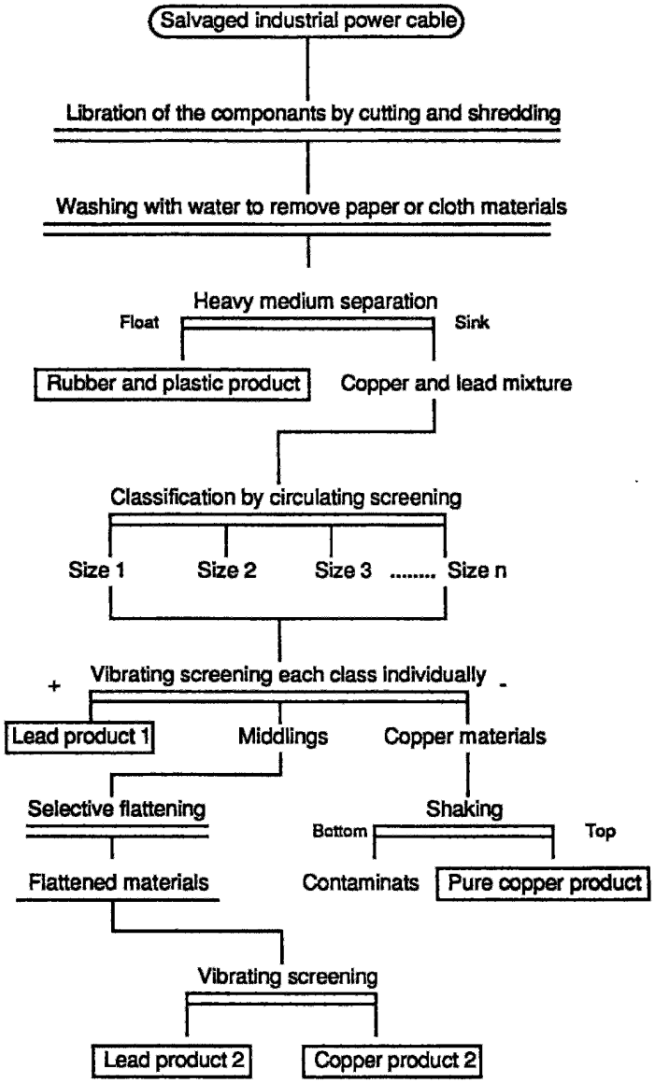
- در صورت استفاده از یک مرحله آسیاکنی، ذرات سرب موجود، در اثر ضربه پهن شده و امکان خروج از سرندها را پیدا نمی کنند.

# بازیابی مس از کابل ها

❖بازیابی با بهره گیری از شکل ذرات



# بازیابی مس از کابل ها




## ❖بازیابی با بهره گیری از شکل ذرات

- در شیوه ای دیگر، از واسطه سنگین به منظور جداسازی مواد کاغذی و پلاستیکی از بخش های فلزی استفاده می شود.

- برای ایجاد واسطه سنگین از محلول کلسیم کلرید با چگالی بین ۱/۱ تا ۱/۶ استفاده می شود.

- سپس، مواد فلزی وارد سرندهای لرزان می شوند و جداسازی بر اساس شکل ذرات انجام می شود.

# بازیابی فلزات قیمتی از ضایعات الکترونیکی

## ❖فرایند سیانیداسیون

- همانند بازیابی طلا از منابع اولیه، سیانید فلزات قیمتی را از منابع ثانویه هم حل می کند.

$$4\ Au + O_2 + 8\ NaCN + 2\ H_2O \rightarrow 4\ NaAu(CN)_2 + 4\ NaOH$$

- استفاده از یک اکسید کننده مناسب باعث افزایش نرخ لیچینگ خواهد شد.
- محلول باردار با فلز روی در تماس قرار داده شده و فلزات قیمتی سمنته می شوند.
- محصول سمنتاسیون شامل مس، نقره و طلاست.
- در مرحله بعدی، مواد سمنته شده در کوره القایی ذوب شده و محصول نهایی شامل ۶۰ تا ۸۵ درصد طلاست.