

博 士 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名	XU PING
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 780 号
論文題目	Study on carbon nanomaterials modified NF membrane and Mg^{2+}/Li^{+} separation performance (カーボンナノ材料修飾 NF 膜とその Mg^{2+}/Li^{+} 分離性能 に関する研究)
論文審査委員	主査 倪 慶清 市川 結 渡辺健太郎 FU SHAOYUN (重慶大学, 中国)

(博士論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、カーボンナノ材料を用いて 4 つの新規 NF 膜を開発し、その Mg^{2+}/Li^{+} 分離性能を評価したものである。本論文は、その研究成果をまとめて 6 章から構成されている。主な研究内容は以下に示す。

- (1) グラフェン酸化物(GO)添加物を濾過(UF)膜にドーピングすることで NF 膜を最適化した。UF 膜と修飾した NF 膜の形態、構造および表面特性に対する GO ドーピング含有量の影響を総合的に検討し、GO ドーピング量がわずかに 0.05wt%の NF 膜は Mg^{2+} および Li^{+} に対して高い分離能力を示し、従来の NF 膜と比較して約 119%増加した。
- (2) ナノサイズのアミネートグラフェン量子ドット(GQDs-NH₂)を組み込むことにより、GQDs-NH₂ 0.03wt%の新規 NF 膜は、 Mg^{2+} と Li^{+} 拒絶反応を 77%まで高められ、優れた Mg^{2+}/Li^{+} 分離能力を示唆した。
- (3) カルボキシレートカリウム機能性ナノ添加物を合成し、界面重合を行った。膜中の MWCNTs-COOK ナノ添加剤は、いくつかの水分子の輸送チャネルを作り出し、MWCNTs-COOK(150ppm)NF 膜は、12.23 L/m²hbar の顕著な高いフラックス、高い分離能力、優れた Li^{+} 濃縮および Mg^{2+} 除去能力を示し、浸透則の限界を突破した。
- (4) さらに固定 MWCNTs-COOK が基板と形成されたポリアミド層との間の接続を強化し、より高い透水性を有する基板を開発した。MWCNTs-COOK 含有量が 0.012wt%の場合、 Mg^{2+} と Li^{+} の拒絶反応は最大 86.94%に達した。改性された NF 膜は、MWCNTs-COOK を使用しない NF 膜の 2.28 倍の 11.46(L/m²hbar)の大きい流束を示し、膜の構造と親水性の改善により長時間濾過中も安定に利用できることが確認できた。

本学位論文は 4 つの学術論文（掲載済み 4 編、いずれ申請者は第一著者）に基づいて作成されている。

以上を総合して、本学位論文の学術的価値及び工学応用に対する有用性が認められ、審査委員全委員一致して博士学位論文に値すると判断した。また、本論文は新規 NF 膜の開発による Mg^{2+}/Li^{+} 分離効率の向上を図る材料開発に関するものであり、工学分野における応用展開が期待される。その研究内容は博士（工学）の学位論文としての審査に値するものと判断する。

(公表主要論文名)

- [1] **Ping Xu**, Jun Hong, Xiaoming Qian, Zhenzhen Xu, Hong Xia, Qingqing Ni, “Bridge” graphene oxide modified positive charged nanofiltration thin membrane with high efficiency for Mg^{2+}/Li^{+} separation, Desalination 488 (2020), 114522.
- [2] **Ping Xu**, Jun Hong, Zhenzhen Xu, Hong Xia, Qing-Qing Ni, Novel aminated graphene quantum dots (GQDs-NH₂)-engineered nanofiltration membrane with high Mg^{2+}/Li^{+} separation efficiency, Separation and Purification Technology 258 (2021) 118042.
- [3] **Ping Xu**, Jun Hong, Zhenzhen Xu, Hong Xia, Qing-Qing Ni, MWCNTs-COOK-assisted high positively charged composite membrane: Accelerating Li^{+} enrichment and Mg^{2+} removal, Composites Part B: Engineering 212 (2021), 108686
- [4] **Ping Xu**, Jun Hong, Zhenzhen Xu, Hong Xia, Qing-Qing. Ni, Positively charged nanofiltration membrane based on (MWCNTs-COOK)-engineered substrate for fast and efficient lithium extraction, Separation and Purification Technology 270 (2021), 118796.
- [5] **Ping Xu**, Jun Hong, Xiaoming Qian, Zhiwei Xu, Hong Xia, Xuchen Tao, Zhenzhen Xu, Qing-Qing Ni, Materials for lithium recovery from salt lake brine, Journal of Materials Science 56 (2021), 16–63.