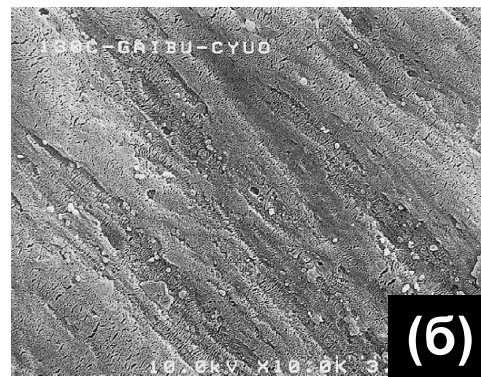
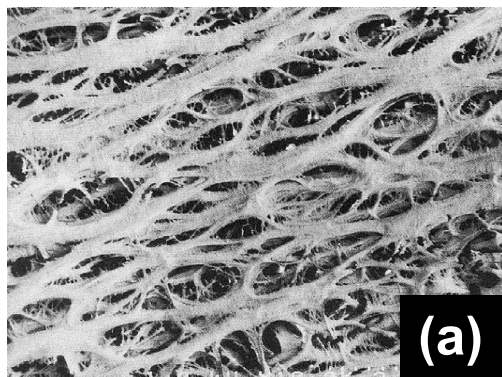
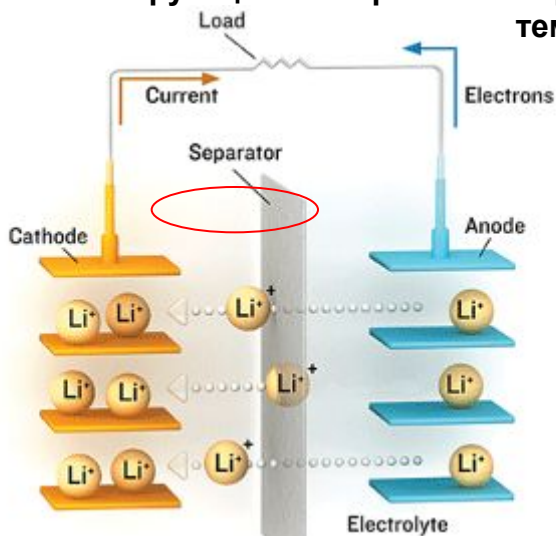


2.2 Основные способы повышения безопасности ЛИА: использование блокирующего сепаратора

Двухслойный сепаратор содержит слои из полипропилена и **полиэтилена** ($T_{пл} \approx 130\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Сканирующая электронная микроскопия полиэтиленового слоя до (а) и после (б) повышения температуры до 130 °С внутри ЛИА



При повышении температуры внутри ЛИА

происходит:

- ✓ необратимое плавление полиэтиленового слоя сепаратора
- ✓ блокировка пор – путей транспорта ионов Li^+
- ✓ предотвращение прямого контакта катода и анода (короткого замыкания)

Основные способы повышения безопасности ЛИА

2.3 Модификация электролита

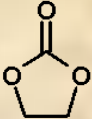
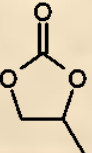
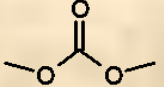
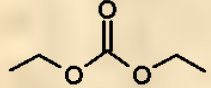
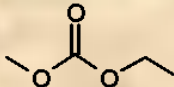
Введение негорючих компонентов и пламегасителей в жидкий электролит (ионные жидкости, ловушки свободных радикалов)

Введение добавок, эффективных при перезаряде:
редокс-шаттлы и блокирующие добавки

Замена жидкого электролита полимерным:

- Сухой
- Гель-полимерный
- Микропористый

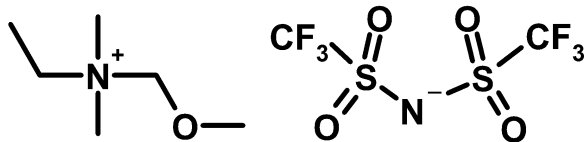
Жидкий электролит: основные проблемы

Органический растворитель	Сокращение	T _{пл}	T _{кип}	T _{воспл}
		(°C)		
 Этиленкарбонат	ЭК	37	244	143
 Пропиленкарбонат	ПК	-55	242	135
 Диметилкарбонат	ДМК	3	90	16
 Диэтилкарбонат	ДЭК	-43	127	25
 Этилметилкарбонат	ЭМК	-55	108	23
LiPF ₆ (соль) Гексафторофосфат лития		200	-	-

Ионные жидкости (ИЖ) в качестве компонентов электролитов для ЛИА

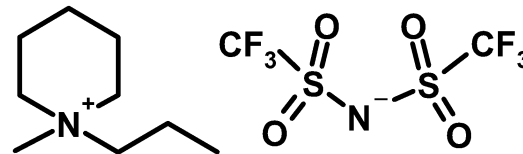
- Практически нулевое давление паров
→ эффективная замена летучих и легковоспламеняющихся растворителей
- Высокая термическая стабильность
- Низкая горючесть (зависит от кислородного индекса)

Использование ИЖ в качестве дополнительного компонента в обычном карбонатном электролите для ЛИА (30-40% vol) позволяет подавить воспламеняемость электролита*



N-метоксиметил-N,N-диметиламмоний бис(трифторметансульфонил)имид

$T_{\text{разл}} = 288 \text{ }^{\circ}\text{C}$

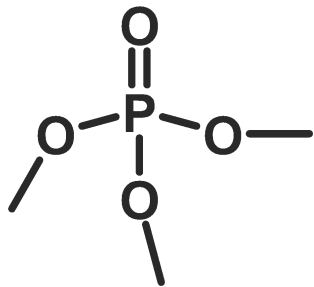


N-метил-N-пропилпиперидиний бис(трифторметансульфонил)имид

$T_{\text{разл}} = 398 \text{ }^{\circ}\text{C}$

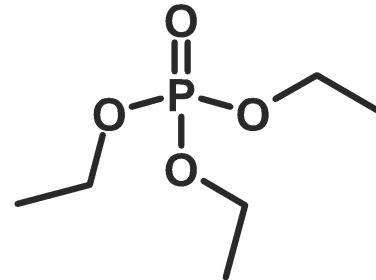
* H. Nakagawa, et.al, // J. Power Sources, 174 (2007) 1021-1026

Пламегасители в качестве компонентов электролитов для ЛИА



Триметилфосфат (TMP)

$T_{\text{кип}} = 197\text{ }^{\circ}\text{C}$



Триэтилфосфат (TEP)

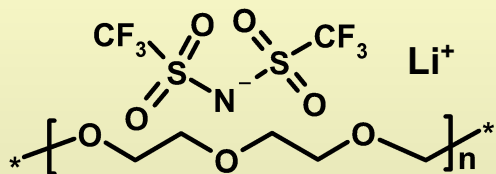
$T_{\text{кип}} = 215\text{ }^{\circ}\text{C}$

Механизм подавления пламени:
Образование свободных радикалов: $\text{TMP} \rightarrow [\text{P}]^{\bullet}$
Реакции обрыва цепи: $[\text{P}]^{\bullet} + \text{H}^{\bullet} \rightarrow \text{PH}$

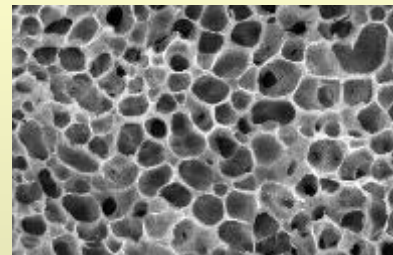
- ✓ Введение 10-20% пламегасителей в жидкий электролит позволяет снизить давление паров и воспламеняемость электролита*

* Michael S., et. al. // Journal of the Electrochemical Society 2002, vol. 149, no11, pp. A1489-A1498

Полимерные электролиты



Полиэтиленоксид



- Полимер
- Соль лития



Сухой
полимерный

- Полимер
- Соль лития
- Органический растворитель



Гель-
полимерный

- Полимер
- Электролит в порах матрицы



Микропористый

Снижение безопасности

Увеличение содержания жидкого электролита, %