

高性能な集積型フレキシブルCIGS 太陽電池モジュールを目指して

化合物薄膜チーム 石塚尚吾

薄膜太陽電池でしか成しえない特長を活かした

集積型 × フレキシブル

これまでのフレキシブルCIGSモジュール製品は全てグリッド型

◎グリッド電極型

SoloPower (US)

0.48cm², 13.76%

102cm², **12.25%**

B.M.Basol, et al., Proc. 34th IEEE PVSC pp.002310.

GSE (US)

Stainless-steel

Total area 15.45%

Cell strings **13.2%**

HMI (currently HZB, GE)

Ti箔

0.5cm², 16.7%

27.1cm², **15.0%**

C.A.Kaufmann, et al., MRS Symp. Proc. 865 (2005) 279.

<http://www.globalsolar.com/en/press/press-releases.html>

◎集積型の試作例

ZSW (GE)

Ti箔基板

7 × 8cm² (act. 46cm², 10 cells), **6.8%**

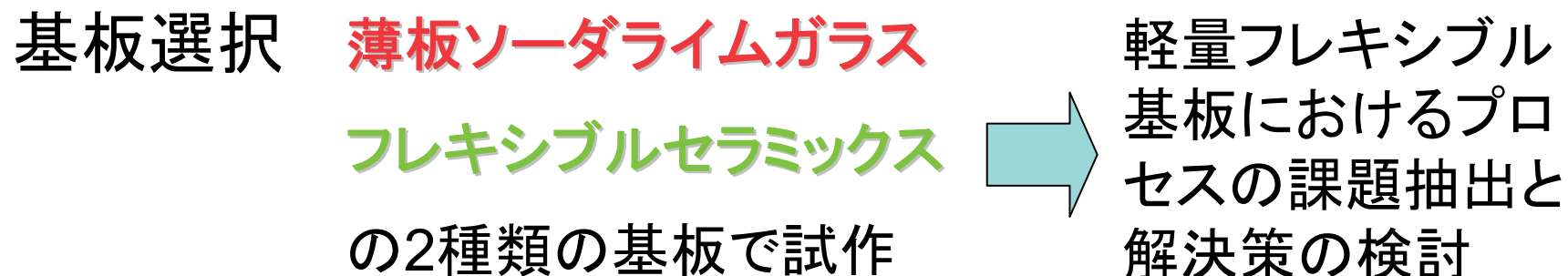
20 × 30cm² (act. 467cm², 39 cells), **3.8%**

現状**10%以下** 

F. Kessler, et al., Thin Solid Films **480/481** (2005) 491.

高効率な集積型フレキシブルCIGS太陽電池 モジュールの実現には多くの課題

高効率な集積型フレキシブル太陽電池 の実現に必要な要素技術開発

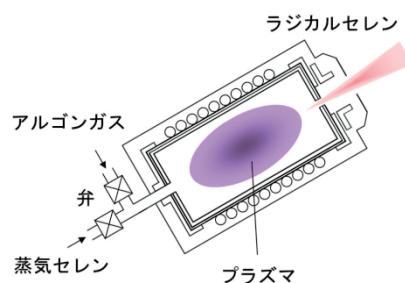


課題・問題点

- ①薄板ガラスはCIGSの高温製膜後に歪や撓みが生じやすい。
- ②セラミックスは高効率化のためのアルカリ添加制御が必要。

高効率な集積型フレキシブル太陽電池 の実現に必要な要素技術開発

低温製膜でも高効率を
得やすいR-Se源を応用



S. Ishizuka, et al.,
SOLMAT
93 (2009) 792.

ASTL法によるNa添加制御
手法を応用

S. Ishizuka, et al.,
Appl. Phys. Lett.
93 (2008) 124105.



薄板ソーダライム
ガラス基板

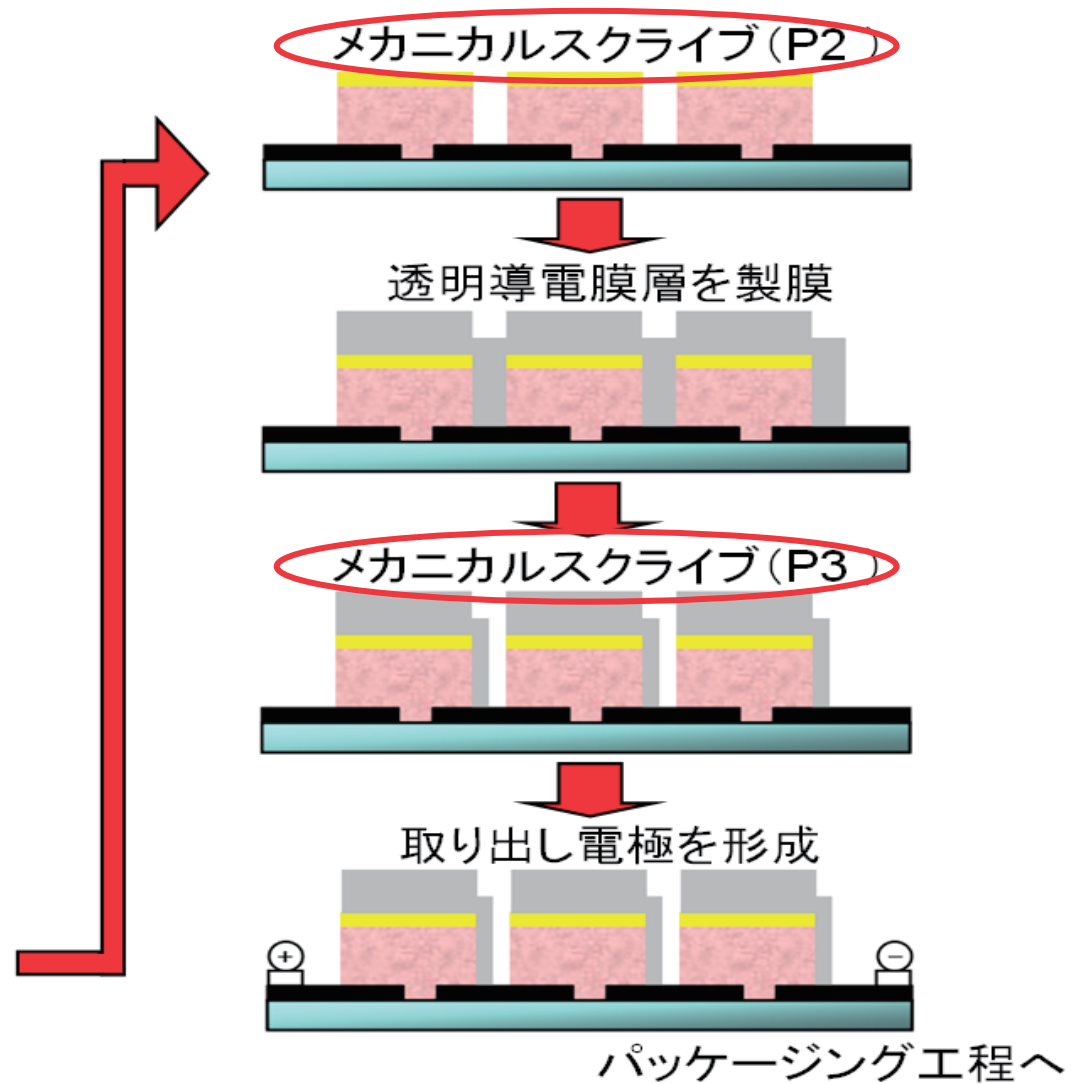
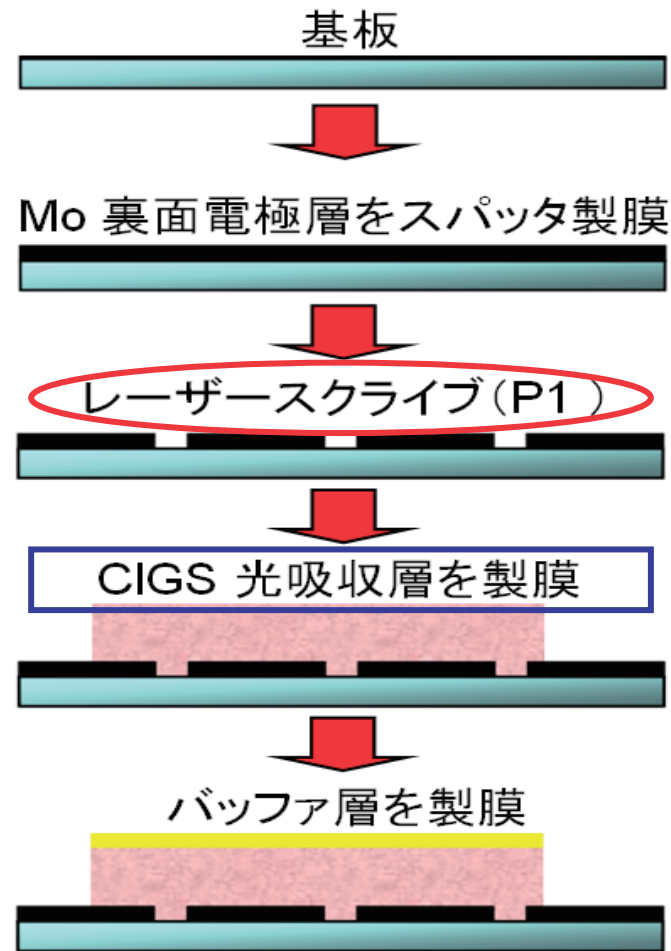
フレキシブルセラ
ミック基板

集積型モジュール製造技術

S. Niki, et al., Proc. 23rd European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition, Valencia (2008) pp. 2129.

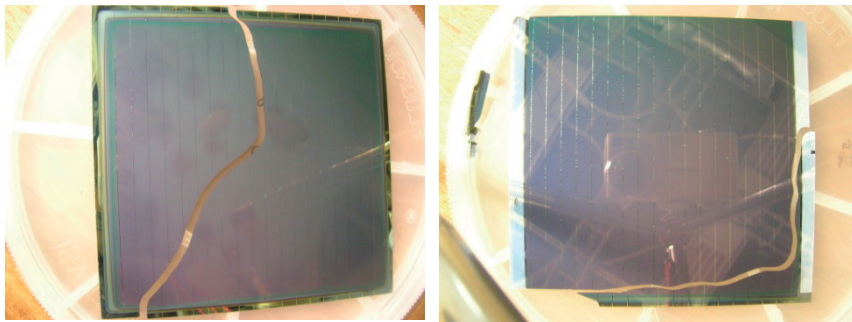


集積型モジュールの作製プロセス



薄板ソーダライムガラス基板

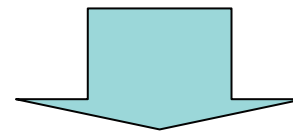
Mo裏面電極が形成された薄板ガラス基板はCIGS製膜時の高温で湾曲しやすい ⇒ 割れやすくなる



CIGS製膜後のスクライビング工程で割れた
250 μm 厚薄板SLG基板



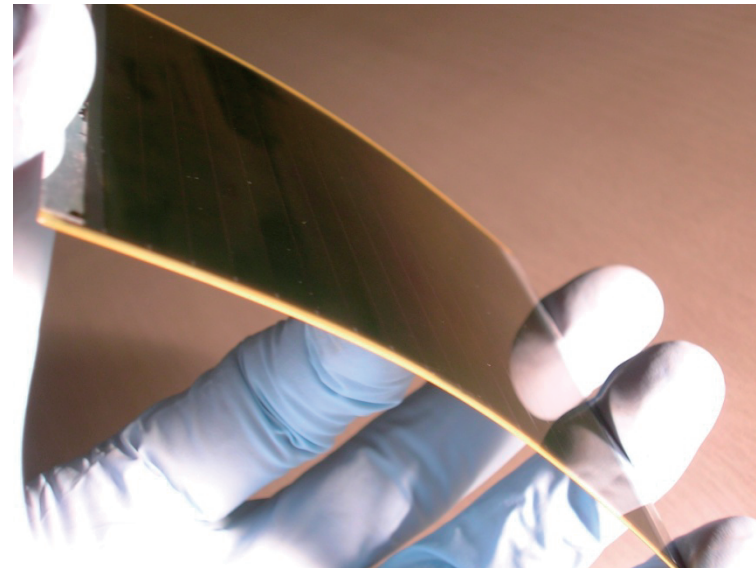
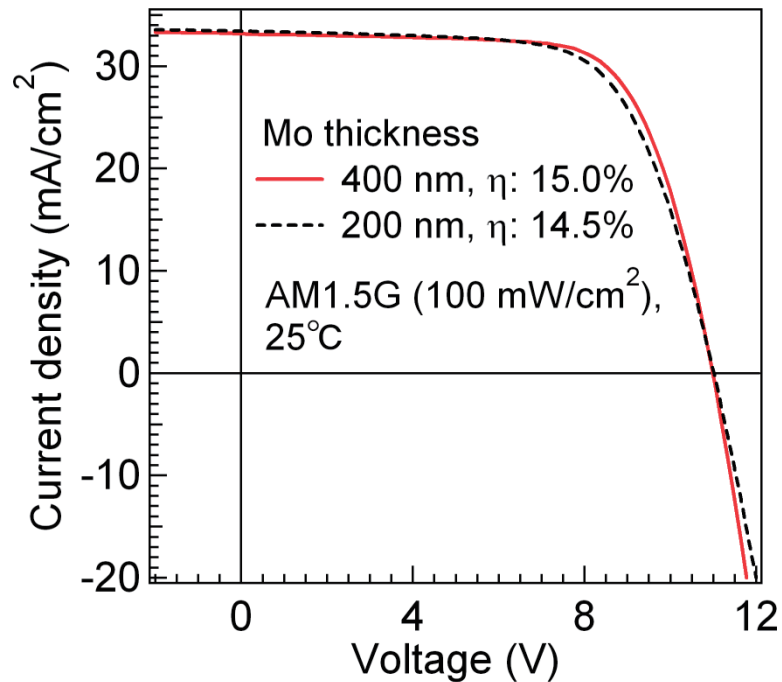
CIGSの低温製膜または
Mo電極層の薄膜化(ストレス緩和)が必要



◎低温製膜 (550°C → 500°C) + RFクラックドラジカルSe源の応用

◎Mo裏面電極の薄膜化 (800 nm ⇒ 400, 200 nmに)

薄板ソーダライムガラス基板



10 × 10 cm² size 250- μ m thick SLG substrate
monolithically 17-cell-integrated submodule

CIGS製膜温度: 500°C

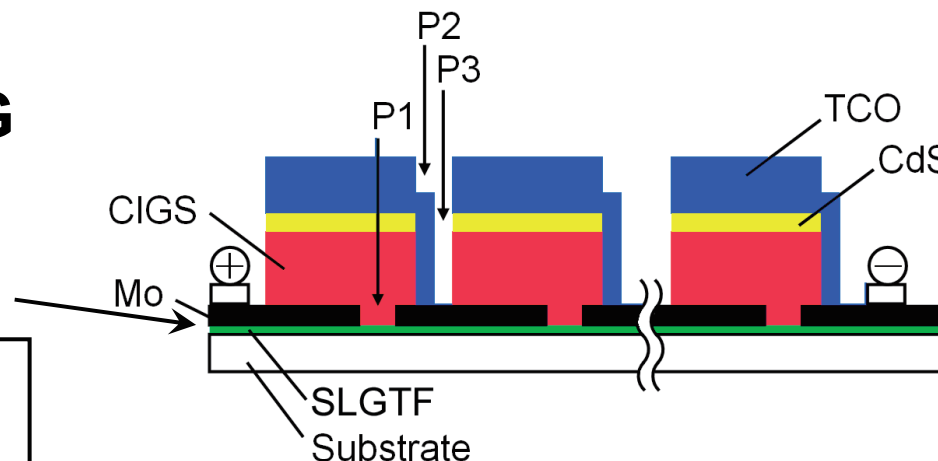
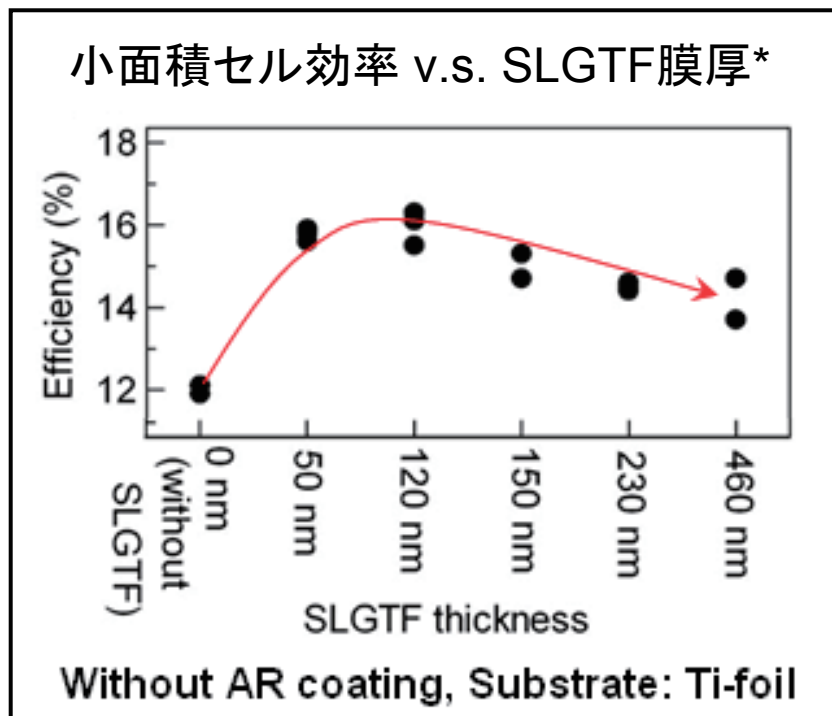
Substrate	η (%)	V_{oc} (/cell) (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	Ap. area (cm ²)	Mo thickness (nm)	Se source
SLG 0.25 mm	15.0*	11.0 (0.646)	33.2	0.700	8.5 × 9.0 (76.5)	400	Radical
SLG 0.25 mm	14.5*	11.1 (0.650)	33.4	0.667	8.5 × 6.0 (51.0)	200	Radical

*in-house measurements

フレキシブルセラミックス基板

アルカリ供給源にスパッタSLG
薄膜 (SLGTF) を使用

SLGTF 均一性が重要



SLGTF thickness ~100 nm
⇒ $\sim 10^{19} / \text{cm}^3$ Na in CIGS

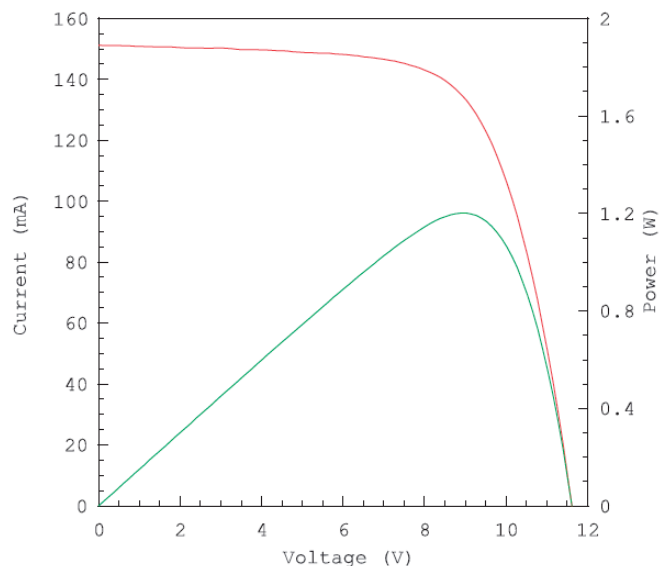
No SLGTF exfoliation on ceramic substrates (good CTE matching)

Coefficient of thermal expansion (CTE)
SLG $83\sim 90 \times 10^{-7} [/\text{K}]$
zirconia $99 \times 10^{-7} [/\text{K}]$

*S. Ishizuka, et al., Appl. Phys. Lett. **93** (2008) 124105.

集積型CIGSモジュール/セラミックス基板 変換効率15.9%*

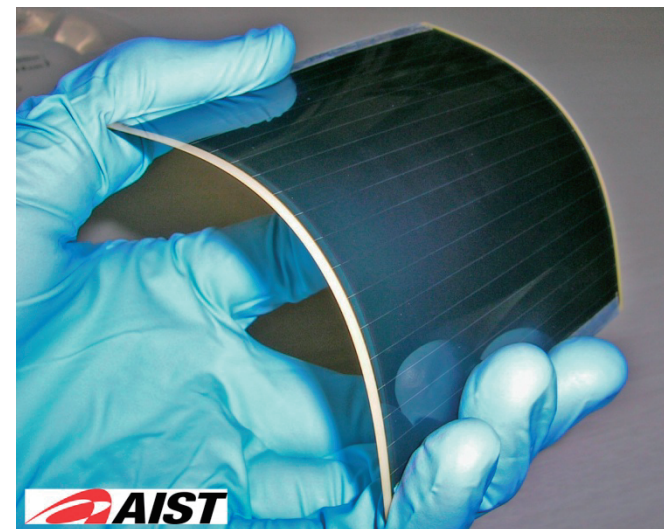
I-V CURVE
IEC60904-3Ed.2 75.7 cm²(aperture area) WXS-220S-20



Date : 19 Apr 2010
Data No : EQ0604-01
Sample No : EQ0604
Repeat Times : 3

I_{sc} 151.2 mA
V_{oc} 11.61 V
P_{max} 1.201 W
I_{pmax} 135.1 mA
V_{pmax} 8.89 V
F.F. 68.4 %
Eff (ap) 15.9 %
DTemp. 25.0 °C
MTemp. 25.0 °C
DIrr. 100.0 mW/cm²
MIrr. 100.4 mW/cm²

Ref. Device No
CSI02
Cal. Val. of Ref.
129.46 [mA at 100mW/cm²]
Scan Mode
I_{sc} to V_{oc}



10 × 10 cm² size 200-μm thick ceramic substrate submodule (17 cells, ap. area 75.7cm²)



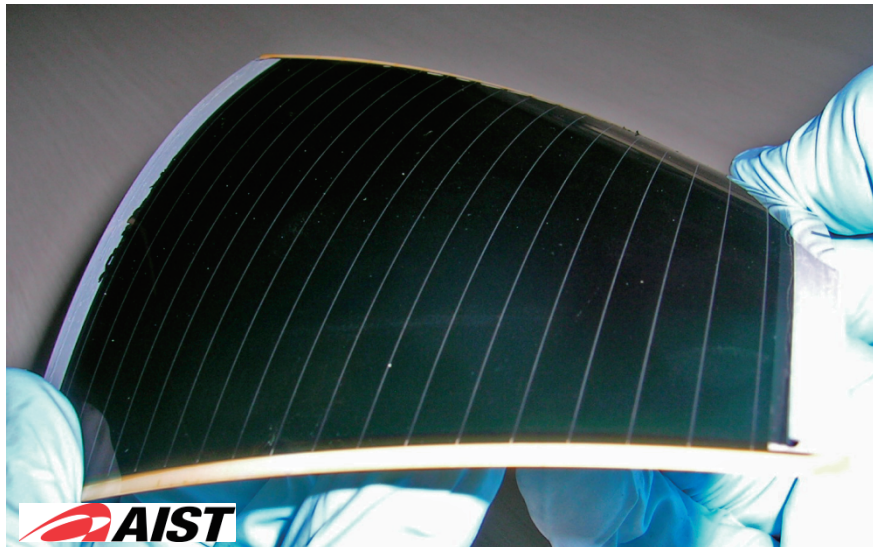
CIGS製膜温度: 550°C

Substrate	η (%)	V _{oc} (/cell) (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF	Ap. area (cm ²)	Mo thickness	Se source
Cer. 300 μm	15.9*	11.59 (0.682)	33.4	0.699	75.7	800 nm	Evaporative
Cer. 200 μm	15.9*	11.61 (0.683)	34.0	0.684	75.7	400 nm	Evaporative

*independently certified efficiency.

まとめ

- ラジカルセレン源、ASTL法 ⇒ 高性能な集積型フレキシブルCIGS太陽電池サブモジュールを実現
- 薄板ガラス基板で15.0% (Mo400nm)、14.5% (Mo200nm)
- フレキシブルセラミック基板で**15.9%** (17 cells, ap. area 75.7 cm²)



謝辞: 本研究開発の一部はNEDOの支援により実施された。
薄板ソーダライムガラス基板は旭硝子株式会社よりご提供頂いた。