

制約付きバッチベイズ最適化を用いた SiC 研削条件の探索

Constraint and batch Bayesian optimization of grinding condition of SiC wafer

名大院工¹, 名大未来研², 産総研 GaN-OIL³, ニートレックス⁴, 理研 AIP⁵,
[○](M1)長田 圭一^{1,2}, (D2)角岡 洋介^{1,2,3}, 成田 潔⁴, 小泉 晴比古², 沓掛 健太郎⁵, 原田 俊太^{1,2},
 田川 美穂^{1,2}, 宇治原 徹^{1,2,3}

Grad. School Eng., Nagoya Univ.¹, IMaSS, Nagoya Univ.², GaN-OIL, AIST³, Nitolex Corp.⁴,
 AIP, RIKEN⁵, [○]Keichi Osada^{1,2}, Yosuke Tsunooka^{1,2,3}, Kiyoshi Narita⁴, Kentaro Kutsukake⁵,
 Haruhiko Koizumi², Shunta Harada^{1,2}, Miho Tagawa^{1,2}, Toru Ujihara^{1,2,3}
 E-mail: osada@unno.material.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】ベイズ最適化は、素材プロセスの条件最適化にも有効である。我々は半導体基板の研削の条件探索へのベイズ最適化の適用を試みている。シリコンをはじめとする半導体基板のコストの多くは、インゴットの切断、研削、研磨といった加工が占め、研削スピードの向上は、スループットの向上に直結し、工業的意義は計り知れない。ところでベイズ最適化においては、データの取得と最適条件予測を逐次的に行うことが多いが、実際のプロセスを考慮した場合、複数のデータ取得をまとめて行う方が効率的な場合がある。このような場合の手法として、評価の実測値の代わりに予測値を訓練データに加え、再びベイズ最適化による最適条件候補の探索を繰り返すことで複数条件を得る方法（バッチベイズ最適化、Fig. 1）が知られている。また、ある基準を満たす条件を得る方法として、条件探索範囲に制約を設ける制約付きベイズ最適化も知られている。本研究では、SiCの基板研削プロセスの最適化に制約付きバッチベイズ最適化を検討した。

【実験方法】本研究では、研削加工速度と研削による表面近傍ダメージの平均値と均一性の3つを同時に最適化した。ダメージは、あいちSRのシンクロトロン光を用いてX線回折ロッキング・カーブの試料表面内マッピングを行い、その半値幅の平均値と標準偏差を評価した。SiCの研削では7つの加工パラメータ（送り速度、回転速度など）を変数とし、まずランダムな27条件で研削と評価を行い、これを最初の訓練データとした。次にバッチベイズ最適化により条件を複数求め、まとめて研削を行った後、一度に半値幅の評価を行い、結果を訓練データに加えた。この操作を3回繰り返し、1回目の操作では1条件（通常のベイズ最適化）、2, 3回目では3条件（バッチベイズ最適化）を求めた。また3回目では、半値幅の平均値と標準偏差の大幅な向上を期待して、半値幅の最大値がある閾値以下になる制約を付けたベイズ最適化を行った。

【実験結果】Fig. 2に、最初の27条件中の最適条件、バッチベイズ最適化の2回目の2条件目、3回目の1条件目の加工速度と半値幅のマッピングの結果を示す。2回目の結果では、半値幅の平均値と標準偏差に大きな向上は見られず、加工速度も減少した。これに対し、3回目の結果では、加工速度は減少したものの、制約付きベイズ最適化の狙い通り、半値幅の平均値と標準偏差は大幅に向上した。しかし一方で、3回目の他の条件では所定の深さまで研削できなかった。この原因には、半値幅の最大値に関する厳しい制約に由来する加工速度の大幅な減少が考えられる。今後も制約とバッチを駆使し、加工基準の達成度も考慮しつつ、半値幅の向上を目指していく。

【謝辞】本研究は、「知の拠点あいち」重点研究プロジェクトの一環として実施したものです。

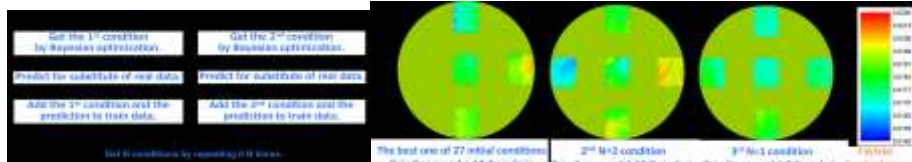


Fig. 1 Batch Bayesian optimization.

Fig. 2 Results of evaluation. The color bar shows FWHM.

削除: B

削除:

削除: uated...Schoolol...Eng.,in...Nagoya Univ.¹, IMaSS.

削除: iken AIP

書式変更: 行間: 固定値 15 pt

削除: も

削除: ものがある。ところで、…イズ最適化においては、

削除: 候補

削除: 。このようにして複数の条件を得るベイズ最適化

削除: 研削による表面近傍の

削除: 最大値

削除: ニ3つを同時に最適化することと…た。ダメージ

削除: ない、その半値幅の平均値と標準偏差によって

削除: 複数のサンプルを一度に…価するため、バッチベ

削除: 数

削除: ダメージの評価ではXRDによるロッキング・カ

削除: 候補

削除: 条件求め、まとめて研削を行った後、一度に半値

削除: 実験の27条件中の最適条件、と…ッチベイズ最

削除: 最大値と、…準偏差とも

削除: にあまり変化

削除: ている

削除: 評価では、加工速度は減少したものの、制約付き

削除: は大きく減少し、同時に

削除: とその

削除: 均一性

削除: が

削除: も大きく

削除: これまでにないくらい

削除: 、3回目の他の条件2, 3条件目

削除: 要因

削除: としては、半値幅の最大値に関するして…しい制

削除: そのため、

削除: 、さらに…約とおよび