

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月11日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22604013

研究課題名（和文） 高電界加速に付随する結晶構造由来の高周波放電メカニズムの解明

研究課題名（英文） Research of RF discharge mechanism due to crystal characteristics associated with high-gradient acceleration

研究代表者

肥後 寿泰（HIGO TOSHIYASU）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・教授

研究者番号：10156581

研究成果の概要（和文）：高加速電界では、電磁波を閉じ込めている加速空洞の表面で放電が発生する。数100万回に一度の頻度で発生するこの放電の種が、多結晶構造に関係していると仮説を立てた。結晶構造研究のため、高純度の巨大結晶材料で機械加工と熱処理を経て表面形成し、高分解能顕微鏡や放射光で評価した。結晶方位による表面形状の違い、結晶粒界に沿った溝構造、表面へのパルス的な熱印加による時間依存の表面歪み、等が明らかになった。

研究成果の概要（英文）：The vacuum arc happens on the surface under the high field sitting in the cavity where the electromagnetic field is confined. We assume that the crystal characteristics of the constituent material is the origin of the arcing, which happens once in several million pulses. A high-purity large-grain material is mechanically machined and heat treated in order to study the crystal nature of the material with high-resolution scanning electron microscope and synchrotron radiation. We found the different surface depending on the crystal orientation, the groove structure along the grain boundary and surface strain due to the impulse deposit of heat over the surface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：時限

科研費の分科・細目：量子ビーム科学

キーワード：高電界・結晶構造・真空放電・加速器・無酸素銅・リニアコライダー

1. 研究開始当初の背景

(1) リニアコライダー等、高エネルギー加速器を実現するために、100MV/m 級の高電界加速が必須である。

(2) 加速管の高電界運転時に、真空放電が発生しこれが安定な加速器運転の実現ができていない。

(3) 繰り返し高周波を印加するために、パルス幅時間内の表面のみに局在する電流による表面の発熱が放電頻度をリミットしているように見える事象がある。

(4) 構成する多結晶無酸素銅の結晶構造に関連したメカニズムを想定して、無酸素銅表

面の評価を行うことにした。

2. 研究の目的

(1) 表面の発熱に起因して、無酸素銅の表面の劣化が観測されており、これが放電のトリガーに寄与していると考えられる。

(2) 結晶構造、特にその粒界に関連した表面近傍の特徴を捉えることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 表面特性は結晶方位に関係しており、これとの関係を調べるためには結晶構造の評価のしやすい実験を遂行すべきである。高純度の巨大結晶と呼ぶ材料が研究に適すると判断して、これを用いた表面を形成し評価する。

(2) 高分解能の顕微鏡で表面のミクロな形状を観察すること、また結晶表面の歪みを X 線や放射光で評価する。

(3) パルスのエネルギーを付与し、時間応答をはかることにより、時間依存の表面評価をする。

4. 研究成果

(1) 無酸素銅で製作した空洞に高電力高周波を閉じ込め、真空中での放電を観察した。100MV/m 級でも、数千万回に一回程度に放電頻度が抑えられることがわかった。図 1 には 3 空洞の放電頻度が試験時間の関数としてプロットしてある。赤で示した表面磁場の低い空洞は非常に低い放電頻度に到達したが、緑、青の空洞では、表面磁場が大きいためか、放電頻度が大きいことがわかった。

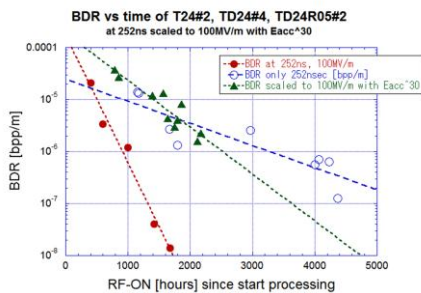


図 1 3 加速空洞の放電頻度

(2) 図 2 (左) に、高次モード減衰のための導波管経路を明けたために表面磁場の大きくなった構造の写真を示す。空洞のプロセッシング初期において、磁場の増大のある構造をもつ加速空洞では、図 2 (右) の青、緑に示す様に、同図赤に示した磁場の増大のない空洞に比べて多くの放電回数を経て高電界状態が安定になってくることがわかった。



図 2 磁場増大の大きい空洞の構造

Initial processing history of 24-cell structures

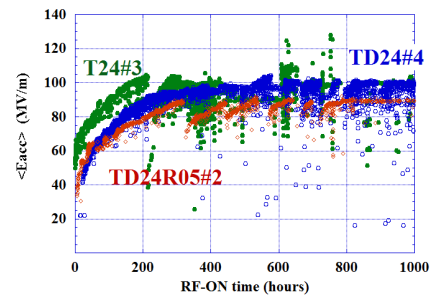


図 3 空洞のプロセッシング初期仮定の比較

(3) これらから推論すると、高電界での真空放電では、加速電界 (又は表面電界) で決まる現象というより、表面磁界の大きさで決まるメカニズムがあると考えたほうが良い面がありそうである。

(4) 磁場がどのように関連しているか? 共同研究で進めてきている評価の一つに、高電界試験後の加速空洞内、磁場の極大の場所を CERN で SEM 観察した例を図 4 に示す。これに見えるように、電磁界計算上は殆ど電界の無い場所にも放電痕らしき跡が観測され、半導体での電流集中で観測される Electromigration のような現象が起きているのかも知れない。



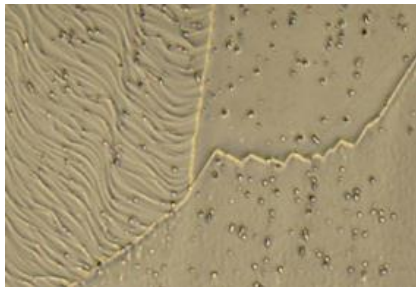
図 4 高電界試験後の高磁場部の SEM 写真

(5) 付近には、結晶方位に関係して表面の性状がことなるところが観察されている。結晶構造、特にその粒界に関連したメカニズムを疑い、無酸素銅表面の観察を行うことにした。試験には粒界を判別しやすくするため、図 5 の写真にあるような純度の高い巨大結

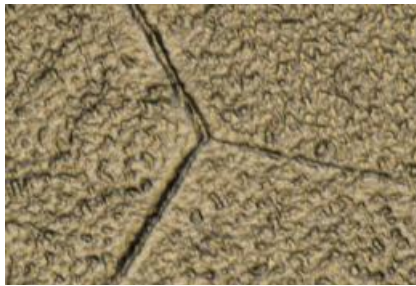
晶を用いた。写真に見えるように、結晶の大きさが1 cm級である。この材料を用いてボタン形状を製作し、表面観察を進めてきた。



図5 巨大結晶材料



水素炉



真空炉

図6 熱処理後の表面 (x2000倍)

図6の例は、上がミリング加工した後に水素炉で1時間処理、下は真空炉に1 Torr 程度の水素ガスを添加して1時間程度処理した場合の表面である。これから、加工の履歴を大きく反映してピット様の表面が得られる、また真空炉では水素を多少添加してあっても結晶構造に関係した表面の荒れがあり、粒界もはっきり大きく成長することがわかった。

(6) 今後これらの表面の形状を詳しく計測し、また熱処理前のエッチングを含む表面洗浄との関連を調べることで、最終的には簡単な空洞形状に仕上げた高周波電磁場を印加して高電界特性との比較を試みるべきであると考え。

(7) そのための試験設備の準備が図7に示す様にほぼ完了し、今後高電力試験を進めると同時に、種々の試験体の製作にかかることとなる。

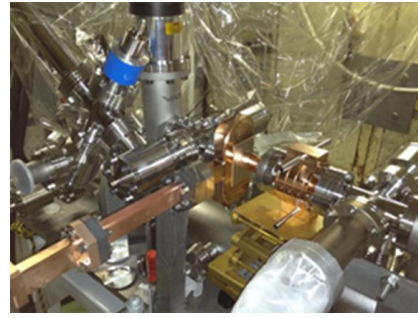


図7 高周波試験セットアップ

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

(1) R. Belusevic and T. Higo
A CLIC Prototype Higgs Factory
KEK Pre-Print 2012-21, 査読無

(2) High Gradient Test at Nextef and High-Power Long-Term Operation of Devices
S. Matsumoto, T. Abe, Y. Higashi, T. Higo,
Y. Du
Nucl. Instr. and Method in Physics
Research, A657 (2011) p160-167, 査読有

(3) Progress on Scanning Field Emission
Microscope Development for Surface
Observation
Y. Higashi, T. Higo, S. Matsumoto, K.
Yokoyama, Zhang Xiaowei, Valery Dolgashev,
Sami Tantawi and B. Spataro
Nucl. Instr. and Method in Physics
Research, A657 (2011) p156-159, 査読有

(4) 横山和枝、松本修二、肥後寿泰、福田茂樹
狭導波管を用いた銅及びステンレス材での
高電界 RF 放電特性の比較
日本電気学会 学会誌 2010 年 Vol. 130,
No. 12, Sec. A、査読有、IEEJ ID A10-039

[学会発表] (計 7 件)

(1) Comparison of High Gradient
Performance in Varying Cavity Geometries
T. Higo, T. Abe, Y. Arakida, S. Matsumoto,
T. Shidara, T. Takatomi, M. Yamanaka, Y.
Higashi, A. Grudiev, G. Riddone, W.
Wuensch,
WEPFI018, IPAC2013, 22 May 2013, Shanghai,
China

(2) 肥後寿泰、阿部哲郎、荒木田是男、東保

男、松本修二、設楽哲夫、高富俊和
高電界パルス運転での真空放電現象の特性
THPS093、日本加速器学会 2012年8月8日
～11日、大阪

(3) 阿部哲郎、東保男、荒木田是男、肥後寿泰、松本修二、設楽哲夫、高富俊和
高電界Xバンド単セル空洞の4分割方式による製作

THPS095、日本加速器学会、大阪、2012年8月8日～11日

(4) Fast X-ray reflectivity measurement using a cooling PIN photodiode

X. Zhang, H. Fujimoto and A. Waseda
2011 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 24
012025 doi:10.1088/1757-899X/24/1/012025

Buried Interface Sciences with X-rays and Neutrons 2010、25-27 July 2010, Nagoya

(5) Breakdown Characteristics in DC Spark Experiments of Copper Focusing on Purity and Hardness

K. Yokoyama, T. Higo, S. Fukuda, Y. Higashi, S. Matsumoto, C. Pasquino, S. Calatroni
WEPS068、日本加速器学会、姫路、2011年8月

(6) T. Higo, Y. Higashi, S. Matsumoto, K. Yokoyama, S. Doebert, A. Grudiev, G. Riddone, W. Wuensch, R. Zennaro
Advances in X-Band TW Accelerator Structures Operating in the 100 MV/m Regime

THPEA013, IPAC2010, Kyoto, May, 2010

(7) Various Observables of TW Accelerator Structures Operating in 100MV/m or Higher at X-Band Facility, Nextef of KEK

T. Higo, S. Matsumoto, K. Yokoyama, S. Fukuda, M. Akemoto, M. Yoshida, T. Shidara, T. Abe, Y. Higashi, T. Takatomi, Y. Watanabe, K. Ueno, N. Higashi, N. Kudoh
THPEA012, IPAC2010, Kyoto, May, 2010

[その他]

ホームページ等

<http://www-linac.kek.jp/nextef/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

肥後寿泰 (HIGO TOSHIYASU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・教授

研究者番号：10156581

(2) 研究分担者

松本修二 (MATSUMOTO SHUJI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・准教授

研究者番号：70249902

(3) 研究分担者

東保男 (HIGASHI YASUO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器科学支援センター・シニアフェロー

研究者番号：70208742

(4) 研究分担者

張小威 (CHAN XIAOWEI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造研究所・研究機関講師

研究者番号：80217257

(5) 連携研究者

横山和枝 (YOKOYAMA KAZUE)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教

研究者番号：70391711

(6) 連携研究者

阿部哲郎 (ABE TETSUO)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・准教授

研究者番号：70370070